

EPD - ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025 und EN 15804+A2



Bau-EPD

Baustoffe mit Transparenz



HERAUSGEBER

Bau EPD GmbH, A-1070 Wien, Seidengasse 13/3, www.bau-epd.at

PROGRAMMBETREIBER

Bau EPD GmbH, A-1070 Wien, Seidengasse 13/3, www.bau-epd.at

DEKLARATIONSINHABER

Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB)

DEKLARATIONSNUMMER

BAU-EPD-VOEB-2024-5-Pflastersteine und -platten

AUSSTELLUNGSDATUM

25.09.2024

GÜLTIG BIS

25.09.2029

ANZAHL DER DATENSÄTZE

3

ENERGIE MIX ANSATZ

MARKTORIENTIERTER ANSATZ (MARKET BASED APPROACH)

Durchschnittliche Pflastersteine und -platten

Pflastersteine

Pflasterplatten

Gesamtdurchschnitt

Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB)



Inhaltsverzeichnis der EPD

1 Allgemeine Angaben 4

2 Produkt 5

 2.1 Allgemeine Produktbeschreibung 6

 2.2 Anwendung 7

 2.3 Produktrelevanten Normen, Regelwerke und Vorschriften 7

 2.4 Technische Daten 7

 2.5 Grundstoffe / Hilfsstoffe 8

 2.6 Herstellung 10

 2.7 Verpackung 10

 2.8 Lieferzustand 10

 2.9 Transporte 11

 2.10 Produktverarbeitung / Installation 11

 2.11 Nutzungsphase 11

 2.12 Referenznutzungsdauer (RSL) 11

 2.13 Nachnutzungsphase 12

 2.14 Entsorgung 12

 2.15 Weitere Informationen 12

3 LCA: Rechenregeln 13

 3.1 Deklarierte Einheit/ Funktionale Einheit 13

 3.2 Systemgrenze 13

 3.3 Flussdiagramm der Prozesse im Lebenszyklus 17

 3.4 Abschätzungen und Annahmen 18

 3.5 Abschneideregeln 18

 3.6 Hintergrunddaten 19

 3.7 Datenqualität 19

 3.8 Betrachtungszeitraum 20

 3.9 Allokation 20

 3.10 Vergleichbarkeit 21

4 LCA: Szenarien und weitere technische Informationen 21

 4.1 A1-A3 Herstellungsphase 21

 4.2 A4-A5 Errichtungsphase 21

 4.3 B1-B7 Nutzungsphase 23

 4.4 C1-C4 Entsorgungsphase 23

 4.5 D Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial 25

5 LCA: Ergebnisse 25

 5.1 LCA: Ergebnisse Hauptuntergruppe "Pflastersteine" 26

 5.2 LCA: Ergebnisse Hauptuntergruppe "Pflasterplatten" 27

 5.3 LCA: Ergebnisse Hauptuntergruppe "Gesamtdurchschnitt" 29

6 LCA: Interpretation 32

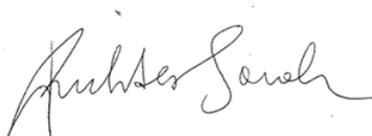
7 Literaturhinweise 39

8	Verzeichnisse und Glossar	41
8.1	Abbildungsverzeichnis	41
8.2	Tabellenverzeichnis	41
8.3	Abkürzungen.....	42

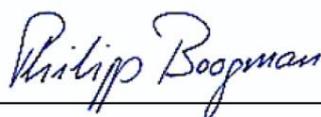
1 Allgemeine Angaben

<p>Produktbezeichnung Pflastersteine und -platten untergliedert in 3 Hauptuntergruppen</p>	<p>Deklarierte Einheit 1 Tonne des jeweiligen durchschnittlichen Betonfertigteils</p>
<p>Deklarationsnummer BAU-EPD-VOEB-2024-5-ECOINVENT-Pflastersteine und -platten</p>	<p>Deklariertes Bauprodukt 1 Tonne</p>
<p>Deklarationsdaten <input type="checkbox"/> Spezifische Daten <input checked="" type="checkbox"/> Durchschnittsdaten</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pflastersteine • Pflasterplatten • Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten
<p>Deklarationsbasis MS-HB Version 5.0.0 vom 20.09.2023 [1] PKR: Anforderungen an eine EPD für Beton und Betonelemente PKR-Code: 2.17 Version 10.0 vom 01.01.2024 [2] (PKR geprüft u. zugelassen durch das unabhängige PKR-Gremium)</p> <p>Der Nutzer des Rechners (Hersteller des deklarierten Produkts) haftet für die für Berechnungen angewandten Herstellerangaben und Nachweise. Eine Haftung der Bau EPD GmbH und des Erstellers des Rechners für Herstellerinformationen, Ökobilanzdaten und Nachweise ist ausgeschlossen.</p>	<p>Anzahl der Datensätze in diesem EPD-Dokument: 3</p> <p>Gültigkeitsbereich Die EPD gilt für die oben angeführten Durchschnittsprodukte.</p> <p>Repräsentativität Die Bewertung der durchschnittlichen Fertigteile der drei Hauptuntergruppen des Produktbereichs "Pflastersteine und -platten" basiert auf einer Datenerhebung in 7 Betonfertigteilwerken für das Referenzjahr 2022.</p> <p>Das repräsentative Marktgebiet (Produktion, Vertrieb, Anwendung, Entsorgung) der deklarierten Produkte ist Österreich.</p> <p>Die EPD ist repräsentativ für die gesamte Produktionsmenge (je Hauptuntergruppe) der betrachteten Werke im Jahr 2022 (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).</p> <p>Die in der EPD bewertete Produktionstechnologie ist repräsentativ für die Gesamtmenge (je Hauptuntergruppe) der in den betrachteten Werken im Jahr 2022 produzierten deklarierten Produkte (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).</p>
<p>Deklarationsart lt. EN 15804 von der Wiege zur Bahre und Modul D (Module A + B + C + D) LCA-Methode: Cut-off by classification</p>	<p>Datenbank, Software, Version Datenbank: ecoinvent 3.9.1, Software: Ökobilanzrechner für Betonfertigteile der floGeco GmbH (verifizierte Rechnerversion: BAU-EPD-LCA-Tool-2024-001-FloGeco-Betonfertigteile-v05-20240918-Locked) Charakterisierungsfaktoren: Joint Research Center, EF 3.1</p>
<p>Ersteller der Ökobilanz floGeco GmbH Hinteranger 61d A-6161 Natters Österreich</p>	<p>Die Europäische Norm EN 15804:2019+A2+corr2021 dient als Kern-PKR. Die c-PKR des CEN ÖNORM EN 16757 [3] wurde angewendet. Unabhängige Verifizierung der Deklaration nach EN ISO 14025:2010 <input type="checkbox"/> intern <input checked="" type="checkbox"/> extern</p> <p>Verifizierer: DI Philipp Boogman, IBO Institut für Bauen und Ökologie</p>

Deklarationsinhaber Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB) Gablenzgasse 3/5. OG A-1150 Wien Österreich	Eigentümer, Herausgeber und Programmbetreiber Bau EPD GmbH Seidengasse 13/3 1070 Wien Österreich
--	---



DI (FH) DI DI Sarah Richter
Leitung Konformitätsbewertungsstelle



DI Philipp Boogman
Verifizierer, IBO Institut für Bauen und Ökologie

2 Produkt

2.1 Allgemeine Produktbeschreibung

Pflastersteine und -platten bestehen aus Beton und werden in Produktionswerken unter kontrollierten Bedingungen in einem überwiegend automatisierten Prozess hergestellt. Im Zuge des Herstellprozesses wird der Beton in die Schalungen eingebracht, entsprechend verdichtet und zum Aushärten gebracht. Der Beton wird entweder in der Schalung belassen oder sofort ausgeschalt. Nach dem Aushärtvorgang werden die Fertigteile auf dem Lagerplatz für die Auslieferung zur Baustelle bereitgestellt.

Die Umweltproduktdeklaration (EPD) bzw. die Ökobilanzergebnisse (Module A + B + C + D) für durchschnittliche Pflastersteine und -platten werden in folgende Hauptuntergruppen gegliedert:

- Pflastersteine
- Pflasterplatten
- Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten

Pflastersteine und -platten aus Beton werden zur Befestigung von Straßen, Geh- und Radwegen, Parkplätzen sowie Flächen mit hohen Ansprüchen an die Gestaltung und an die Aufenthaltsqualität wie beispielsweise Fußgängerzonen oder öffentlichen Plätzen eingesetzt. Pflasterplatten sind im Prinzip Pflastersteine mit größeren Abmessungen und werden als Gehwegplatten bzw. technisch als Großformate bezeichnet.

Zur Erstellung der Ökobilanz wurde der Ökobilanzrechner für Betonfertigteile der floGeco GmbH (verifizierte Rechnerversion: BAU-EPD-LCA-Tool-2024-001-FloGeco-Betonfertigteile-v05-20240918-Locked) verwendet. Die Ergebnisse sind repräsentativ für die in Tabelle 1 dargestellten 7 Werke.

Tabelle 1: Produktionswerke

#	Firma	Werksstandort
1	Weissenböck Baustoffwerk	Bad Fischau
2	Weissenböck Baustoffwerk	Gerasdorf
3	Weissenböck Baustoffwerk	Neunkirchen
4	Seesteiner GmbH	Klagenfurt
5	Seesteiner GmbH	Tillmitsch
6	Ebenseer GmbH	Maishofen
7	Ebenseer GmbH	Vorchdorf

Die Gewichtung der durchschnittlichen Sachbilanzen und Ergebnisse für die einzelnen Hauptuntergruppen erfolgt nach Produktionsanteil der jeweiligen Werke (Produktionsmengen der Werke werden aus Vertraulichkeitsgründen in der EPD nicht dargestellt, wurden jedoch mit dem Projektbericht verifiziert). Tabelle 2 zeigt die Gesamtproduktionsmengen der 7 Werke für die betrachteten Hauptuntergruppen.

Tabelle 2: Gesamtproduktionsmengen der betrachteten Hauptuntergruppen

Hauptuntergruppe	Produktionsmenge [t]
Pflastersteine	209 766
Pflasterplatten	75 772
Gesamt	285 538

Die EPD ist repräsentativ für die gesamte Produktionsmenge (je Hauptuntergruppe) der betrachteten Werke im Jahr 2022 (siehe Tabelle 2).

Die in der EPD bewertete Produktionstechnologie ist repräsentativ für die Gesamtmenge (je Hauptuntergruppe) der in den betrachteten Werken im Jahr 2022 produzierten deklarierten Produkte (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).

Die Schwankungsbreite der Ergebnisse der deklarierten Produkte wird in Kapitel 6 LCA: Interpretation entsprechend dargestellt und diskutiert.

Produktrelevante Normen für die einzelnen Produktbereiche und Produktuntergruppen können in Kapitel 2.3 eingesehen werden.

2.2 Anwendung

Pflastersteine und -platten aus Beton sowie Bordsteine, Böschungssteine, Blockstufen und ähnliche Produkte werden zur Befestigung von Straßen, Geh- und Radwegen, Parkplätzen sowie Flächen mit hohen Ansprüchen an die Gestaltung und an die Aufenthaltsqualität wie beispielsweise Fußgängerzonen oder öffentlichen Plätzen eingesetzt.

2.3 Produktrelevanten Normen, Regelwerke und Vorschriften

Für das Inverkehrbringen des Produkts in der EU/EFTA (mit Ausnahme der Schweiz) gilt die Verordnung (EU) Nr. 305/2011(CPR). Das Produkt benötigt eine Leistungserklärung unter Berücksichtigung der geltenden harmonisierten Produktnorm (siehe Tabelle 3) und die CE-Kennzeichnung. Für Produkte, die nicht der CE Kennzeichnung unterliegen, gelten die Bestimmungen der Baustoffliste ÖA des OIB [4].

Tabelle 3: Produktrelevante Normen

Norm	Titel
ÖNORM B 3256	Bordsteine aus Beton - Anforderungen, Prüfverfahren und Konformitätsnachweis - Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1340
ÖNORM B 3258	Pflastersteine und Platten aus Beton - Anforderungen, Prüfverfahren und Konformitätsnachweis - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1338 und ÖNORM EN 1339
ÖNORM B 3328	Betonfertigteile - Anforderungen, Prüfungen und Verfahren für den Nachweis der Normkonformität von Fertigteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
ÖNORM EN 1338	Pflastersteine aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren
ÖNORM EN 1339	Platten aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren
ÖNORM EN 1340	Bordsteine aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren
ÖNORM EN 13198	Betonfertigteile - Straßenmöbel und Gartengestaltungselemente
ÖNORM EN 13369	Allgemeine Regeln für Betonfertigteile
ÖNORM EN 15258	Betonfertigteile - Stützwandelemente

2.4 Technische Daten

Die Gewichtung der durchschnittlichen Rohdichte für die einzelnen Hauptuntergruppen erfolgt nach Produktionsanteil der jeweiligen Werke.

Tabelle 4: Technische Daten Hauptgruppe Pflastersteine

Bezeichnung	Wert	Einheit
Rohdichte	2298 2250 – 2350	kg/m ³
Betondruckfestigkeitsklasse	C25/30	
Betondruckfestigkeit $f_{ck,cyl}$	25	N/mm ²
Betondruckfestigkeit $f_{ck,cube}$	30	N/mm ²
Streckgrenze Bewehrungsstahl R_e	-	N/mm ²
0,2%-Dehngrenze Bewehrungsstahl $R_{p0,2}$	-	N/mm ²
Zugfestigkeit Spannstahl f_{pk}	-	N/mm ²
0,2%-Dehngrenze Spannstahl $R_{p0,2}$	-	N/mm ²
Bemessungsspezifikationen gemäß spezifischer Produktnorm – Tabelle 3		

Tabelle 5: Technische Daten Hauptgruppe Pflasterplatten

Bezeichnung	Wert	Einheit
Rohdichte	2295 2250 – 2350	kg/m ³
Betondruckfestigkeitsklasse	C25/30	
Betondruckfestigkeit $f_{ck,cyl}$	25	N/mm ²
Betondruckfestigkeit $f_{ck,cube}$	30	N/mm ²
Streckgrenze Bewehrungsstahl R_e	-	N/mm ²
0,2%-Dehngrenze Bewehrungsstahl $R_{p0,2}$	-	N/mm ²
Zugfestigkeit Spannstahl f_{pk}	-	N/mm ²
0,2%-Dehngrenze Spannstahl $R_{p0,2}$	-	N/mm ²
Bemessungsspezifikationen gemäß spezifischer Produktnorm – Tabelle 3		

Tabelle 6: Technische Daten Hauptgruppe Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten

Bezeichnung	Wert	Einheit
Rohdichte	2297 2250 – 2350	kg/m ³
Betondruckfestigkeitsklasse	C25/30	
Betondruckfestigkeit $f_{ck,cyl}$	25	N/mm ²
Betondruckfestigkeit $f_{ck,cube}$	30	N/mm ²
Streckgrenze Bewehrungsstahl R_e	-	N/mm ²
0,2%-Dehngrenze Bewehrungsstahl $R_{p0,2}$	-	N/mm ²
Zugfestigkeit Spannstahl f_{pk}	-	N/mm ²
0,2%-Dehngrenze Spannstahl $R_{p0,2}$	-	N/mm ²
Bemessungsspezifikationen gemäß spezifischer Produktnorm – Tabelle 3		

2.5 Grundstoffe / Hilfsstoffe

Die in Tabelle 7 bis Tabelle 12 dargestellten Stofflisten basieren auf einer Datenerhebung in den 7 beteiligten Betonfertigteilwerken für das Referenzjahr 2022. Im Ökobilanz-Rechner werden in einem ersten Schritt die Betonrohstoffe (Tabelle 7, Tabelle 9, Tabelle 11) und im nächsten Schritt die Rohstoffe des zu deklarierenden Fertigteils (Tabelle 8, Tabelle 10, Tabelle 12) variabel eingesetzt. Die Bewertung des Betons über die eingesetzten Betonrohstoffe wird in die Bewertung des Fertigteils entsprechend übernommen.

Die Gewichtung der durchschnittlichen stofflichen Zusammensetzung der einzelnen Hauptuntergruppen erfolgt nach Produktionsanteil der jeweiligen Werke.

Tabelle 7: Grundstoffe / Hilfsstoffe Beton Pflastersteine

Bestandteile:	Funktion	Massen %
CEM I	Betonrohstoff	<0,1%
CEM II/A	Betonrohstoff	12,3%
CEM II/B	Betonrohstoff	0,5%
Pigmente	Betonrohstoff	<0,1%
Sand 0/4	Betonrohstoff	60,3%
Gesteinskörnung rund (4/GK)	Betonrohstoff	3,3%
Gesteinskörnung gebrochen (4/GK)	Betonrohstoff	16,8%
Rezyklierte Gesteinskörnung	Betonrohstoff	2,1%
Fließmittel	Betonrohstoff	<0,1%
Hydrophobierer	Betonrohstoff	<0,1%
Luftporenbildner	Betonrohstoff	<0,1%
Oberflächen- und Grundwasser	Betonrohstoff	4,5%

Tabelle 8: Grundstoffe / Hilfsstoffe Betonfertigteile Pflastersteine

Bestandteile:	Funktion	Massen %
Beton (siehe Tabelle 7)	Standardrohstoff	100%

Tabelle 9: Grundstoffe / Hilfsstoffe Beton Pflasterplatten

Bestandteile:	Funktion	Massen %
CEM I	Betonrohstoff	0,1%
CEM II/A	Betonrohstoff	13,2%
CEM II/B	Betonrohstoff	0,8%
Pigmente	Betonrohstoff	<0,1%
Sand 0/4	Betonrohstoff	54,9%
Gesteinskörnung rund (4/GK)	Betonrohstoff	8,5%
Gesteinskörnung gebrochen (4/GK)	Betonrohstoff	15,3%
Rezyklierte Gesteinskörnung	Betonrohstoff	2,0%
Fließmittel	Betonrohstoff	<0,1%
Hydrophobierer	Betonrohstoff	<0,1%
Luftporenbildner	Betonrohstoff	<0,1%
Oberflächen- und Grundwasser	Betonrohstoff	5,0%

Tabelle 10: Grundstoffe / Hilfsstoffe Betonfertigteile Pflasterplatten

Bestandteile:	Funktion	Massen %
Beton (siehe Tabelle 9)	Standardrohstoff	100%

Tabelle 11: Grundstoffe / Hilfsstoffe Beton Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten

Bestandteile:	Funktion	Massen %
CEM I	Betonrohstoff	<0,1%
CEM II/A	Betonrohstoff	12,6%
CEM II/B	Betonrohstoff	0,6%
Pigmente	Betonrohstoff	<0,1%
Sand 0/4	Betonrohstoff	58,9%
Gesteinskörnung rund (4/GK)	Betonrohstoff	4,7%
Gesteinskörnung gebrochen (4/GK)	Betonrohstoff	16,4%
Rezyklierte Gesteinskörnung	Betonrohstoff	2,1%
Fließmittel	Betonrohstoff	<0,1%
Hydrophobierer	Betonrohstoff	<0,1%
Luftporenbildner	Betonrohstoff	<0,1%
Oberflächen- und Grundwasser	Betonrohstoff	4,6%

Tabelle 12: Grundstoffe / Hilfsstoffe Betonfertigteile Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten

Bestandteile:	Funktion	Massen %
Beton (siehe Tabelle 11)	Standardrohstoff	100%

Das Produkt/Erzeugnis/mindestens ein Teilerzeugnis enthält Stoffe der ECHA-Kandidatenliste der für eine Zulassung in Frage kommenden besonders besorgniserregenden Stoffe (en: Substances of Very High Concern – SVHC) (Datum 07.04.2024) oberhalb von 0,1 Massen-%: **nein**.

2.6 Herstellung

Fertigteile aus Beton werden in Produktionswerken unter kontrollierten Bedingungen in einem überwiegend automatisierten Prozess hergestellt. Im Zuge des Herstellprozesses wird Beton in die Schalungen eingebracht, entsprechend verdichtet und zum Aushärten gebracht. Sie werden entweder in der Schalung belassen oder sofort ausgeschalt. Nach dem Aushärtevorgang werden die Fertigteile auf dem Lagerplatz für die Auslieferung zur Baustelle bereitgestellt (siehe Kapitel 3.3 – Abbildung 1).

2.7 Verpackung

Pflastersteine und -platten werden je nach Produktuntergruppe unterschiedlich ausgeliefert und verpackt. Häufig kommen Paletten als Transporthilfe und teilweise Kunststofffolien und Kunststoffbänder als Bündelhilfe zum Einsatz.

2.8 Lieferzustand

Pflastersteine und -platten werden im ausgehärteten, einbaufähigen Zustand zum Transport häufig nur auf Paletten gestellt und für den Transport entsprechend gesichert. Zum Teil werden die Produkte mit Kunststofffolien und Kunststoffbändern verpackt.

Lieferabmessungen (Form und Größe) von Fertigteilen variieren aufgrund der unterschiedlichen baulichen Anwendungen bzw. der planerischen Anforderungen und Bemessungsspezifikationen sehr stark und werden aufgrund der großen Varianz für die hier betrachteten durchschnittlichen Pflastersteine und -platten nicht dargestellt. Entsprechende Informationen zu den Lieferabmessungen der jeweiligen Pflasterprodukte sind in Produktdatenblätter der in dieser EPD beteiligten Hersteller zu finden.

Pflastersteine und -platten werden auf Paletten angeliefert. Sollte eine entsprechende Lagerung vor dem Einbau notwendig sein, so erfolgt diese ohne Lagerhilfsmittel und ggf. im verpackten Zustand.

2.9 Transporte

Pflastersteine und -platten werden überwiegend per LKW transportiert (ca. 98 % der Pflastersteine und -platten). Ein sehr kleiner Anteil der Auslieferung erfolgt mit der Bahn (ca. 2 % der durchschnittlichen Pflastersteine und -platten). Die Produkte werden überwiegend zu lokalen Absatzmärkten geliefert. Die betrachteten Produktionsstandorte und Herstellwerke für Pflastersteine und -platten sind entsprechend über das Bundesgebiet verteilt. Die spezifischen Transportdistanzen und -prozesse für die deklarierten Fertigteile wurden im Zuge der Datenerhebung für die Produktionsanalyse entsprechend erhoben. Die Datenerhebung in den 7 Betonfertigteilwerken für das Referenzjahr 2022 ergab, dass für den Transport von Pflastersteinen und -platten auf der Straße aufgrund des Gewichts der einzelnen Elemente bzw. aufgrund von entsprechenden Liefermengen hauptsächlich großklassige LKW mit hohen zulässigen Gesamtgewichten (>32 t) zum Einsatz kommen.

2.10 Produktverarbeitung / Installation

Für die Montagearbeiten müssen die allgemein gültigen Verlegeanleitungen des Herstellers eingehalten werden. Das Versetzen bzw. die Installation von Pflastersteinen und -platten erfolgt nach entsprechenden Vorarbeiten (Aufreißen von Fluchtlinien, Höhennivellement, usw.). Für das Versetzen von Pflastersteinen und -platten sind Hilfsmaterialien wie Kiesbettung, Fugensand, usw. anzuwenden.

Diese EPD für von Pflastersteine und -platten bzw. der Ökobilanzrechner für Betonfertigteile fokussiert rein auf die zu deklarierenden Betonfertigteile und betrachtet keine auf der Baustelle zu ergänzenden Materialien (wie Kiesbettung, Fugensand, etc.), weil diese sehr stark von der tatsächlichen strukturellen Funktion sowie auch von der detaillierten Form des Fertigteils abhängen (Menge Kiesbettung, usw.) und die EPD sowie der angewandte Rechner eine ökobilanzielle Bewertung einer deklarierten Einheit von 1 Tonne Fertigteil (unabhängig von der detaillierten Geometrie und der Statik bzw. den Charakteristika des tatsächlichen Bauwerks) anstrebt. Diese Materialien sind in spezifischen EPD bzw. in ökobilanziellen Bewertungen auf Bauwerksebene (mit) zu betrachten.

Für diese EPD wird der baustelleninterne Transport der Pflastersteine und -platten im Zuge der Herstellung einer befestigten Fläche für ein Gebäude berücksichtigt, weshalb das Einheben der gebündelten Pflasterprodukte mittels Turmdrehkran bewertet wird. Bei Linienbaustellen (wie z.B. im Straßenbau) erfolgt der Transport der Pflastersteine und -platten innerhalb der Baustelle meist mit Radladern oder anderen bereiften Transportmitteln (z.T. sogar per Schubkarren, etc.) Der für diese EPD angesetzte Krantyp bzw. Energieaufwand wird in Kapitel 4.2 dargestellt.

2.11 Nutzungsphase

Bei Pflastersteinen und -platten treten bei ordnungsgemäßer Planung, sach- und fachgerechtem Einbau und störungsfreier Nutzung in der Regel keine Änderungen der stofflichen Zusammensetzung über den Zeitraum der Nutzung auf.

In dieser EPD wird die CO₂-Aufnahme durch Karbonatisierung in der Nutzungsphase nach ÖNORM EN 16757:2023 [3] berücksichtigt (siehe 3.2). Karbonatisierung ist ein natürlicher Prozess während des Lebenszyklus von Beton, durch den ein Teil des Kohlendioxids, das während der Zementproduktion emittiert wird, an den Beton rückgekoppelt wird.

2.12 Referenznutzungsdauer (RSL)

Die tatsächliche Nutzung der Pflastersteine und -platten im Gebäude ist aufgrund der Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten nicht eindeutig definierbar, weshalb von den Herstellern keine durchschnittliche RSL für die jeweiligen Hauptuntergruppen angegeben werden kann. Wenn keine Referenznutzungsdauer nach den Regeln ÖNORM EN 15804:2022 [5] (Anhang A) ermittelt werden kann, ist ein Default-Wert aus einer komplementären PKR der CEN/TC-Produktgremien zu verwenden. Die Vorgaben der ÖNORM EN 206:2021 [6] und der ÖNORM EN 16757:2023 – Anhang F [3] orientieren sich an einer Nutzungsdauer von 50 Jahren (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Referenz-Nutzungsdauern (RSL) nach ÖNORM EN 16757:2023 – Anhang F [3]

Nutzung	RSL [Jahre]
Nichttragende Bauteile für Gebäude (innen) (z. B. Terrazzoplatten)	50 Jahre
Elemente für den Straßenbau (z. B. Schallschutz, Bordstein)	50 Jahre

2.13 Nachnutzungsphase

Mit Pflastersteinen bzw. -platten befestigte Flächen werden meist mit Baggern gelöst und mit Brechern zerkleinert. Nach Erreichen des Endes der Abfalleigenschaften können aufbereitete Betone in folgenden Formen wiedereingesetzt werden:

- zerkleinerter Beton (Betongranulat) ersetzt Primärmaterial ohne weitere Abfallbehandlung, z.B. im Straßenbau
- zerkleinerter Beton (Betongranulat) ersetzt natürliche Gesteinskörnung in Frischbeton

Wo zerstörungsfrei möglich bzw. bei entsprechendem Erhaltungszustand können Pflastersteine und -platten zur Wiederverwendung ausgebaut werden und die Herstellung von neuen bzw. primären Fertigteilen entsprechend ersetzen.

Für die in dieser EPD deklarierten Hauptuntergruppen von Pflastersteinen und -platten wird ein Rückbau mit Hydraulikbaggern und eine Recyclingquote von 98 % für den Beton angesetzt. Da ein vollständiges Recycling aufgrund von Verlusten bei Rückbau, Transport, usw. nicht realistisch ist, wird für 2 % der rückgebauten Betonkomponenten ein Deponierungsszenario angesetzt. Bei dem angesetzten Recycling-Szenario handelt es sich um ein Hersteller-Szenario, welches basierend auf Diskussionen mit Experten des VÖB festgelegt wurde und ein Szenario in der Zukunft abbildet (nach Ende der Lebensdauer). Dabei wurde berücksichtigt, dass Betonfertigteile zukünftig im Sinne einer Vermeidung von Sekundärrohstoffverschwendung möglichst im Ganzen rückgebaut (ausgehoben) und vollständig einem Recyclingprozess zugeführt werden. Das Recycling-Szenario ist im jeweiligen Anwendungsfall zwingend zu prüfen und entsprechend anzupassen.

2.14 Entsorgung

Nach dem Abbruch bzw. Rückbau wird Beton gemäß Abfallverordnung als Abfall betrachtet. Erreicht der Betonschutt das Ende der Abfalleigenschaften nicht, dann wird er auf einer Deponie für inerte Stoffe entsorgt. Die EAK-Abfallschlüsselnummer [7] für Beton ist 170101.

Für die in dieser EPD deklarierten Hauptuntergruppen von Pflastersteinen und -platten wird ein Rückbau mit Hydraulikbaggern und eine Recyclingquote von 98 % für den Beton angesetzt. Da ein vollständiges Recycling aufgrund von Verlusten bei Rückbau, Transport, usw. nicht realistisch ist, wird für 2 % der rückgebauten Betonkomponenten ein Deponierungsszenario angesetzt. Bei dem angesetzten Recycling-Szenario handelt es sich um ein Hersteller-Szenario (siehe 2.13).

In dieser EPD wird die CO₂-Aufnahme durch Karbonatisierung des rückgebauten Betons auf der Deponie (2 %) nach ÖNORM EN 16757:2023 [3] entsprechend bewertet (siehe 3.2). Karbonatisierung ist ein natürlicher Prozess während des Lebenszyklus von Beton, durch den ein Teil des Kohlendioxids, das während der Zementproduktion emittiert wird, an den Beton rückgekoppelt wird.

2.15 Weitere Informationen

Weitergehende Informationen zu Betonfertigteilen können der Webseite www.voeb.com entnommen werden.

3 LCA: Rechenregeln

3.1 Deklarierte Einheit/ Funktionale Einheit

Für Betonelemente ist (sofern möglich) die Angabe einer funktionalen Einheit prinzipiell anzustreben. Aufgrund der Betrachtung von durchschnittlichen Pflastersteinen und -platten bzw. aufgrund der unterschiedlichen Größen, Formen und Anwendungsmöglichkeiten der in den 3 Hauptgruppen betrachteten Fertigteile erfolgt in dieser EPD die Anwendung einer deklarierten Einheit.

Die deklarierte Einheit ist 1 Tonne des jeweiligen durchschnittlichen Betonfertigteils. Die Durchschnittsbildung für die einzelnen Hauptuntergruppen erfolgt basierend auf einer Gewichtung nach Produktionsanteilen der jeweiligen Werke

Tabelle 14: Deklarierte Einheit Pflastersteine = 1 t

Bezeichnung	Wert	Einheit
Deklarierte Einheit	1	t
Rohdichte (Reindichte) für Umrechnung in kg	2298 2250 – 2350	kg/m ³
Massenbezogenes Volumen	0,000435 0,000444 – 0,000426	m ³ /kg

Tabelle 15: Deklarierte Einheit Pflasterplatten = 1 t

Bezeichnung	Wert	Einheit
Deklarierte Einheit	1	t
Rohdichte (Reindichte) für Umrechnung in kg	2295 2250 – 2350	kg/m ³
Massenbezogenes Volumen	0,000436 0,000444 – 0,000426	m ³ /kg

Tabelle 16: Deklarierte Einheit Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten = 1 t

Bezeichnung	Wert	Einheit
Deklarierte Einheit	1	t
Rohdichte (Reindichte) für Umrechnung in kg	2297 2250 – 2350	kg/m ³
Massenbezogenes Volumen	0,000435 0,000444 – 0,000426	m ³ /kg

3.2 Systemgrenze

Typ der Ökobilanz bzw. der EPD: von der Wiege zur Bahre und Modul D (A + B + C + D)

Tabelle 17: Deklarierte Lebenszyklusphasen

HERSTEL- LUNGS- PHASE			ERRICH- TUNGS- PHASE		NUTZUNGSPHASE							ENTSORGUNGSPHASE				Vorteile und Belastungen
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau, Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Entsorgung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

X = in Ökobilanz enthalten; ND = Nicht deklariert

Die geographische Systemgrenze der EPD bezieht sich auf Österreich, weshalb für die Ökobilanzierung (soweit möglich) österreichische Datensätze (z.B. für die Stromproduktion) herangezogen werden.

Im Zuge der Analyse der Herstellungsphase (A1-A3) des betrachteten Betonfertigteils werden sämtliche Stoffe, Produkte und Energien, als auch anfallender Abfall und dessen Behandlung berücksichtigt.

Modul A1: Herstellung von Rohstoffen und Bestandteilen

Im ersten Schritt werden die Mengen der einzelnen Rohstoffe (pro Kubikmeter) des Betons (Zement, Zusatzstoffe, Gesteinskörnung, Betonzusatzmittel, Wasser) des betrachteten Fertigteils bewertet. Im nächsten Schritt werden die Mengen der einzelnen Rohstoffe (pro Tonne) der deklarierten Betonfertigteils bewertet. Die Bewertung des Betons (über die eingesetzten Betonrohstoffe) wird in die Bewertung des Fertigteils entsprechend übernommen.

Modul A2: Transport der Rohstoffe ins Produktionswerk

Die (durchschnittlichen) Transportdistanzen für die einzelnen Rohstoffe wurden getrennt für den Transport auf der Straße, mit dem Schiff bzw. mit der Bahn erfasst und ausgewertet. Für die deklarierten Durchschnittsfertigteile aus mehreren Werken werden die Rohstofftransportprozesse entsprechend der Produktionsanteile der einzelnen Werke gewichtet.

Modul A3: Fertigteilherstellung

Die Bewertung der Herstellungsprozesse von Betonfertigteilen umfasst

- für die Herstellung verwendete Energieträger,
- Produktion von Hilfsstoffen und Hilfsmaterialien,
- Transporte im Werk,
- Deponierung, Entsorgung und Aufbereitung (bis zum Ende der Abfallphase) jeglicher Outputs aus dem Herstellungsprozess.
- Einsatz von Materialien und Ausrüstungen für die Abwasserbehandlung sowie
- die Herstellung von Verpackungsmaterialien.

Modul A4: Transport zur Einbaustelle

Pflastersteine und -platten werden überwiegend per LKW transportiert (ca. 98 % der durchschnittlichen Pflastersteine und -platten). Ein sehr kleiner Anteil der Auslieferung erfolgt mit der Bahn (ca. 2 % der durchschnittlichen Pflastersteine und -platten). Eine Datenerhebung in über 30 österreichischen Betonfertigteilterwerken für das Referenzjahr 2022 ergab, dass für den Transport von Fertigteilen auf der Straße aufgrund des Gewichts der einzelnen Elemente bzw. aufgrund von entsprechenden Liefermengen hauptsächlich großklassige LKW mit

hohen zulässigen Gesamtgewichten (>32 t) zum Einsatz kommen. Deshalb werden die Transporte auf der Straße mit einem Datensatz für einen LKW mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht >32 Tonnen bewertet.

Für die deklarierten Durchschnittsfertigteile aus mehreren Werken wurden in einer entsprechenden Auswertung die Transportprozesse zur Baustelle entsprechend der Produktionsanteile der einzelnen Werke gewichtet.

Modul A5: Einbau bzw. Installation

Diese EPD für Pflastersteine und -platten bzw. der Ökobilanzrechner für Betonfertigteile fokussiert rein auf die zu deklarierenden Betonfertigteile und betrachtet keine auf der Baustelle zu ergänzenden Materialien (wie Kiesbettung, Fugensand, etc.), weil diese sehr stark von der tatsächlichen strukturellen Funktion sowie auch von der detaillierten Form des Fertigteils abhängen (Menge Vergussmörtel usw.) und die EPD eine ökobilanzielle Bewertung einer deklarierten Einheit von 1 Tonne Fertigteile (unabhängig von der detaillierten Geometrie und der Statik bzw. den Charakteristika des tatsächlichen Bauwerks) anstrebt.

Für diese EPD wird der baustelleninterne Transport der Pflastersteine und -platten im Zuge der Herstellung einer befestigten Fläche für ein Gebäude berücksichtigt, weshalb das Einheben der gebündelten Pflasterprodukte mittels Turmdrehkran bewertet wird. Bei Linienbaustellen (wie z.B. im Straßenbau) erfolgt der Transport der Pflastersteine und -platten innerhalb der Baustelle meist mit Radladern oder anderen bereiften Transportmitteln (z.T. sogar per Schubkarren, etc.). Der für diese EPD angesetzte Krantyp bzw. Energieaufwand wird in Kapitel 4.2 dargestellt.

Außerdem wird im Modul A5 die Entsorgung der Verpackungsmaterialien in Form einer thermischen Verwertung von Kunststoffen (z.B. Folien) bzw. Holz (z.B. Stapelhölzer) bewertet. Auch der Transport der Verpackungsmaterialien zur thermischen Verwertung wird entsprechend bewertet (repräsentative Transportdistanz 100 km).

Modul B1: Nutzung

Diese EPD berücksichtigt die CO₂-Aufnahme durch Karbonatisierung in der Nutzungsphase nach ÖNORM EN 16757:2023 [3]. Die Karbonatisierung von Beton ist ein natürlicher Vorgang, bei dem in der Umgebungsluft vorhandenes CO₂ in den Beton eindringt und mit Hydratationsprodukten im Beton reagiert ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$).

Module B2 bis B7: restliche Nutzungsphase

Bei Betonfertigteilen treten bei ordnungsgemäßer Planung, sach- und fachgerechtem Einbau und störungsfreier Nutzung in der Regel keine Änderungen der stofflichen Zusammensetzung über den Zeitraum der Nutzung auf. Die Module B2 Instandhaltung und B3 Reparatur sind für Betonfertigteile deshalb nicht relevant. Die Module B4 Ersatz und B5 Umbau/Erneuerung sind gleichbedeutend mit dem Produktlebensende. Die Module B6 Energieeinsatz und B7 Wassereinsatz sind für Betonfertigteile ohne eingebaute technische Komponenten nicht relevant.

Modul C1: Abbruch/ Rückbau

Diese EPD für Pflastersteine und -platten betrachtet den Rückbau von befestigten Flächen mittels Hydraulikbagger. Dazu wird ein (baubetrieblich ermittelter) Energiebedarf für den Rückbau mit repräsentativer Gerätschaft angesetzt.

Eine Wiederverwendung der Betonelemente in einem neuen Bauwerk nach zerstörungsfreiem Rückbau, d.h. nach einem entsprechenden Ausheben mit geeignetem Hebezeug, ist möglich, wird jedoch in dieser EPD nicht betrachtet.

Modul C2: Transport zur Abfallbewirtschaftung bzw. Entsorgung

Der Transport von abgebrochenen Betonstrukturen bzw. rückgebauten Betonfertigteilen erfolgt mittels LKW. Der Transport des rückgebauten Materials kann zur Wiederaufbereitung bzw. Wiederverwendung (C3) und/ oder zur Deponierung (C4) erfolgen. Deshalb ist entsprechend festzulegen, wieviel der rückgebauten Betonkomponenten einem Recyclingprozess (für Pflastersteine und -platten 98 %) bzw. einer Deponierung (2 %) zugeführt werden. Bei dem angesetzten Recycling-Szenario handelt es sich um ein Hersteller-Szenario (siehe 2.13). Für diese EPD wurde eine repräsentative Transportdistanz von 25 km für den Transport zur Wiederaufbereitung bzw. Deponierung festgelegt.

Modul C3: Wiederaufbereitung und Wiederverwendung

Die Recycling-Anteile für die Betonkomponenten werden entsprechend berücksichtigt (für Pflastersteine und -platten 98 %). Bei dem angesetzten Recycling-Szenario handelt es sich um ein Hersteller-Szenario (siehe 2.13). Die Systemgrenze für rückgebauten Beton wird mit

dem Eintreffen des rückgebauten Materials in das Recycling-Werk gesetzt, weil ab diesem Zeitpunkt die 4 Kriterien nach ÖNORM EN 15804:2022 [5] für das Erreichen des Endes des Abfallstatus erfüllt sind. Daher werden im betrachteten Produktsystem keine Belastungen aus der Wiederaufbereitung von Beton berücksichtigt

Bei einer gesamthaften Wiederverwendung von ausgebauten Betonfertigteilen (Szenario wird in dieser EPD nicht betrachtet) würde die Systemgrenze beim Eintreffen des Elements an der neuen Einbaustelle (direkter Wiedereinbau) bzw. im Zwischenlager gesetzt werden, weil ab diesem Zeitpunkt die 4 Kriterien nach ÖNORM EN 15804:2022 [5] für das Erreichen des Endes des Abfallstatus erfüllt sind.

Modul C4: Entsorgung

Die angegebenen Anteile für Deponierung (für Pflastersteine und -platten 2 % der Betonkomponenten) werden in der EPD entsprechend berücksichtigt.

Diese EPD berücksichtigt die CO₂-Aufnahme durch Karbonatisierung des rückgebauten Betons auf der Deponie nach ÖNORM EN 16757:2023 [3].

Modul D: Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial

Nach Erreichen des Endes der Abfalleigenschaften kann der rezyklierte Beton (Aufbereitung zu Betongranulat – ggf. Zerkleinern, Sieben, etc.) primäre Gesteinskörnungen ersetzen und somit deren Produktion substituieren. Diese EPD berücksichtigt eine entsprechende Bewertung des Recyclingpotentials von Beton in Modul D. Für das Betongranulat wird hier nach ÖNORM EN 15804:2022 [5] der Nettofluss aus Inputs minus Outputs an rezyklierter Gesteinskörnung herangezogen.

Wo zerstörungsfrei möglich bzw. bei entsprechendem Erhaltungszustand könnten Betonfertigteile zur Wiederverwendung in neuen Bauwerken ausgebaut werden und die Herstellung von neuen bzw. primären Fertigteilen entsprechend ersetzen (Szenario wird in dieser EPD nicht betrachtet).

Zusatzbestandteile von Betonfertigteilen (kommen in den hier betrachteten Pflastersteinen und -platten nicht vor) könn(t)en im Rechner dem Deponierungsanteil (z.B. Steinwolle) zugerechnet bzw. einer thermischen Verwertung in Müllverbrennungsanlagen zugeordnet werden (Holzkomponenten, Kunststoffe).

Die in Modul A5 anfallenden Verpackungsmaterialien werden einer thermischen Verwertung zugeführt. Für die thermische Verwertung der Verpackung werden die unteren Heizwerte aus den ecoinvent-Datensätzen für die thermische Verwertung entnommen. Es wird angenommen, dass sich die Energierückgewinnung auf 1/3 Strom (mit einem Wirkungsgrad von 17%) sowie 2/3 Wärme (mit einem Wirkungsgrad von 75%) aufteilt.

3.3 Flussdiagramm der Prozesse im Lebenszyklus

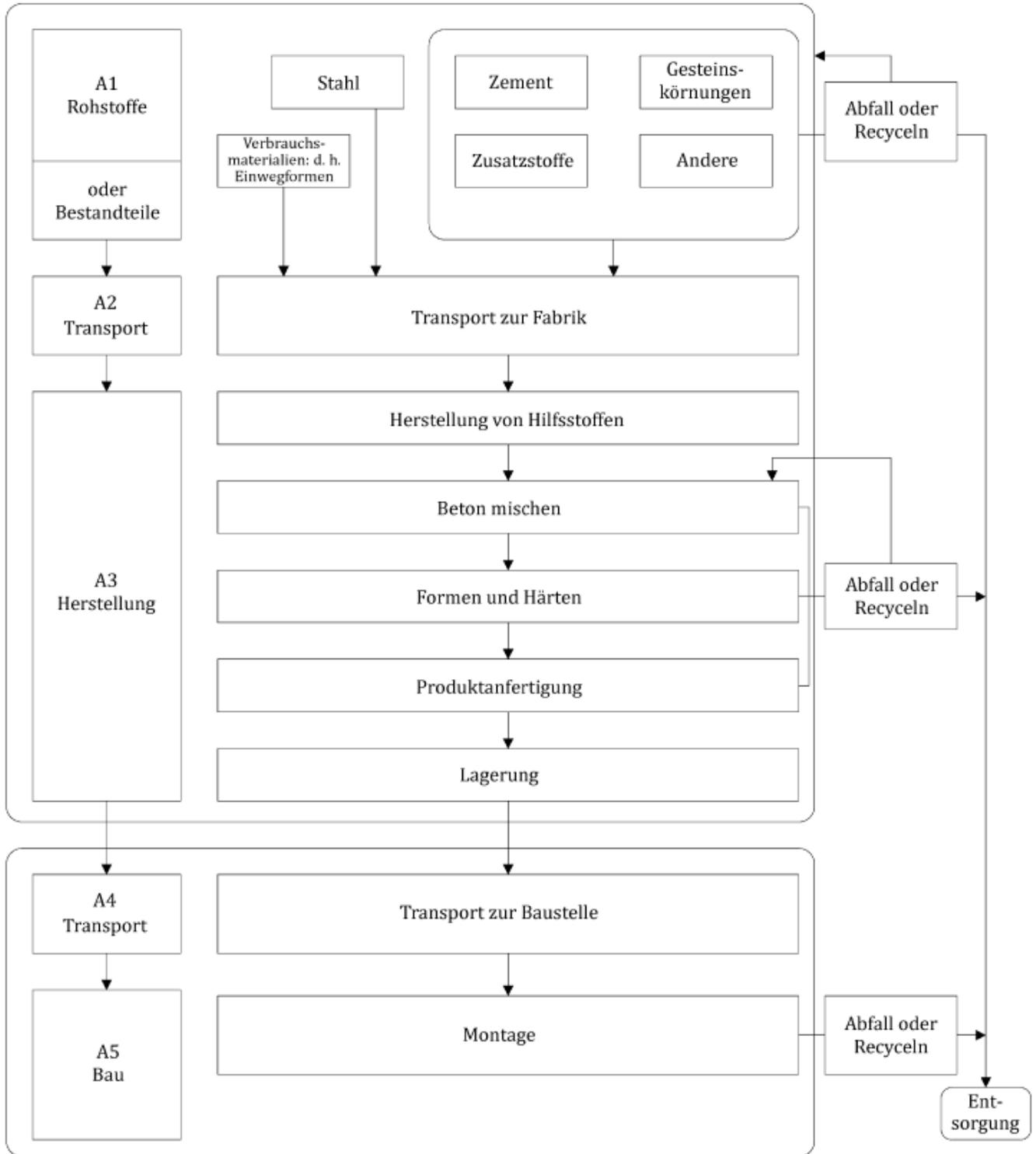


Abbildung 1: Flussdiagramm Herstellungsprozesse (A1-A3) Betonfertigteile inkl. Einbau (A4-A5) [3]

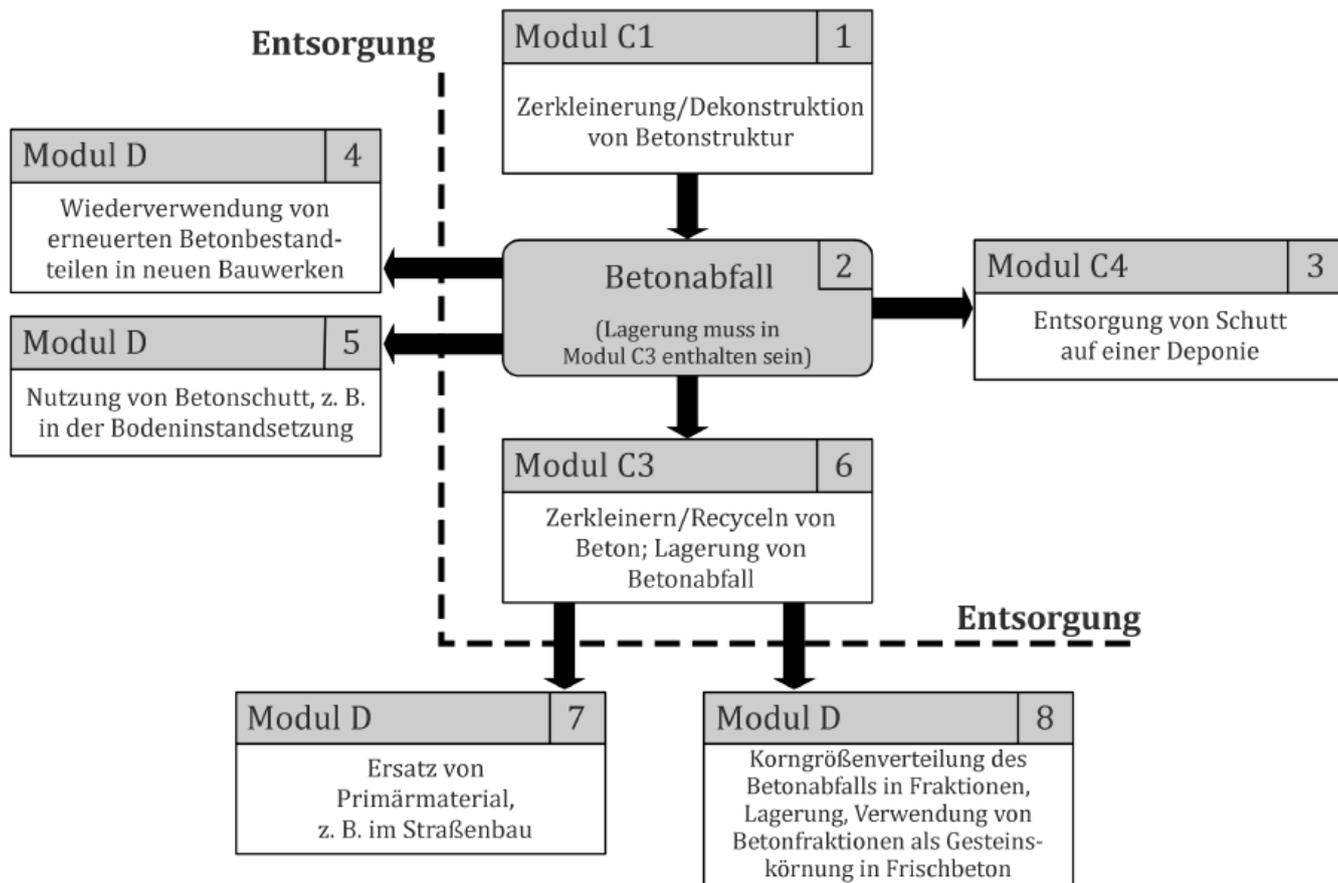


Abbildung 2: Typische Prozesse im Entsorgungsstadium von Betonelementen und deren Zuordnung zu den Lebenszyklusmodulen C1-C4 und D (Transportprozesse und Nutzungsphase werden nicht gezeigt) [3]

3.4 Abschätzungen und Annahmen

Zur Erstellung der Ökobilanz wurde der Ökobilanzrechner für Betonfertigteile der floGeco GmbH (verifizierte Rechnerversion: BAU-EPD-LCA-Tool-2024-001-FloGeco-Betonfertigteile-v05-20240918-Locked) verwendet. Abschätzungen und Annahmen bezüglich der Ökobilanzmodellierungen im Rechner können im Projektbericht des floGeco-Rechentools [8] eingesehen werden. Die hier angesprochenen Abschätzungen und Annahmen beziehen sich auf die Datenerhebungen für diese EPD.

Hinsichtlich Abschätzungen und Annahmen im Zuge der Datenerhebung und -auswertung für die EPD-Erstellung werden die Vorgaben und Empfehlungen des Managementsystem-Handbuchs (EPD-MS-HB) [1] und der PCR Anleitungstexte für Beton und Betonelemente [2] des Bau-EPD-Programms Österreich bzw. der ÖNORM EN 15804:2022 [5] beachtet.

Nach Rücksprache mit Experten der VÖB-Nachhaltigkeitsgruppe (VÖB-internes Gremium zum Thema Nachhaltigkeit mit Vertretern von VÖB-Mitgliedern und externer Expertise) wurde für rückgebaute Betonstrukturen eine Recyclingquote von 98 % und ein Deponierungsanteil von 2 % angesetzt. Bei dem angesetzten Recycling-Szenario handelt es sich um ein Hersteller-Szenario (siehe 2.13).

Außerdem wurde für diese EPD nach Rücksprachen mit Experten der VÖB-Nachhaltigkeitsgruppe eine repräsentative Transportdistanz von 25 km für den Transport zur Wiederaufbereitung, Wiederverwendung, Deponierung bzw. zur thermischen Verwertung festgelegt

3.5 Abschneideregeln

Zur Erstellung der Ökobilanz wurde der Ökobilanzrechner für Betonfertigteile der floGeco GmbH (verifizierte Rechnerversion: BAU-EPD-LCA-Tool-2024-001-FloGeco-Betonfertigteile-v05-20240918-Locked) verwendet. Im Ökobilanzrechner angewandte Abschneideregeln können im Projektbericht des floGeco-Rechentools [8] eingesehen werden. Die hier angesprochenen Abschätzungen und Annahmen beziehen sich auf die Datenerhebungen für diese EPD.

Die definitiven Materialverluste bei der Produktion (Anhaftungen am Mischer und Leitblechen) betragen im Durchschnitt weniger als 1% und werden nicht gesondert betrachtet. Größere anfallende Mengen (z. B. Fehlchargen) in einzelnen Werken werden entsprechend miterfasst.

Der Maschinenpark, Förderbänder, Gebäude, Straßen und Außenanlagen in den Betonwerken werden im Ökobilanzrechner gemäß den Abschneideregeln der ÖNORM EN 15804:2022 [5] nicht mitberücksichtigt.

Die Systemgrenze für rezyklierte Gesteinskörnungen wird mit dem Eintreffen des (vorgebrochenen) Materials in das Kieswerk gesetzt, weil ab diesem Zeitpunkt die 4 Kriterien nach ÖNORM EN 15804:2022 [5] für das Erreichen des Endes des Abfallstatus erfüllt sind.

Wiederaufbereitetes Recycling-Wasser in den Werken und Silikastaub (ökonomische Allokation – siehe 3.7 bzw. 3.9 des Projektberichts des Ökobilanzrechners für Betonfertigteile [8]) gehen lastenfremd in die Ökobilanz ein.

3.6 Hintergrunddaten

Zur Erstellung der Ökobilanz wurde der Ökobilanzrechner für Betonfertigteile der floGeco GmbH verwendet (verifizierte Rechnerversion: BAU-EPD-LCA-Tool-2024-001-FloGeco-Betonfertigteile-v05-20240918-Locked). Im Ökobilanzrechner angewandte Hintergrunddaten können im Projektbericht des floGeco-Rechentools [8] eingesehen werden.

Für die Erstellung des Ökobilanzrechners wurde als Hintergrund-Datenbank ecoinvent 3.9.1 mit dem Systemmodell „cut-off by classification“ verwendet [9]. Da die zu deklarierenden Betonfertigteile von Mitgliedern des Verbands Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke hergestellt werden, wurden, soweit möglich, österreichische Hintergrunddaten für den Ökobilanzrechner herangezogen. Ansonsten wurden europäische, globale oder z.T. auch schweizerische (aufgrund der geographischen Nähe oft repräsentativer als der europäische/ globale Durchschnitt) Datensätze verwendet.

Die angewandten Ökobilanzdatensätze für Zemente, AHWZ (aufbereitete, hydraulisch wirksame Zusatzstoffe) und Kalksteinmehl wurden basierend auf den Grundlagen- bzw. Sachbilanzdaten der Umweltproduktdeklaration (EPD – Environmental Product Declaration) für „Zement mit der durchschnittlichen Zusammensetzung in Österreich im Jahr 2017“ [10] modelliert.

Für Gesteinskörnungen (Sand 0/4, Gesteinskörnung rund (4/x), Gesteinskörnung gebrochen (4/x), Rezyklierte Gesteinskörnung) werden im Ökobilanzrechner die Sachbilanzmodelle der EPD für Gesteinskörnungen des Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie aus dem Jahr 2018 (Produktionsjahr 2016) herangezogen [11].

Für Betonzusatzmittel werden die Ergebnisse aus den EPD der European Federation of Concrete Admixtures Associations (EFCA) [12-17], welche 2021 (Produktionsjahr 2019) basierend auf der GaBi-Datenbank [18] erstellt wurden, angewandt. Für den im Rechner integrierten Betonzusatzstoff Pigmente wird die EPD der Lanxess Deutschland GmbH für "Iron Oxide Red Pigment (Fe₂O₃)" [19] aus dem Jahr 2023 herangezogen (Basis GaBi-Datenbank [18]).

Zur Modellierung der Substitution von primärer Gesteinskörnung durch rezyklierte Gesteinskörnungen wird im Ökobilanzrechner das Sachbilanzmodell der EPD für rezyklierte Gesteinskörnungen des Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie aus dem Jahr 2018 (Produktionsjahr 2016) herangezogen [11].

Die Daten für die in dieser EPD betrachteten, in 3 Hauptgruppen untergliederten, durchschnittlichen Fertigteile wurden über Datenerhebungen in den 7 beteiligten Werken erfasst. Die bereitgestellten Daten wurden entsprechend ausgewertet und gewichtet sowie vor der Eingabe in den angewandten Ökobilanzrechner auf Plausibilität geprüft. Die Vordergrunddaten stammen direkt von den beteiligten Herstellern und sind deshalb entsprechend repräsentativ für Pflastersteine und -platten aus den 7 Werken.

3.7 Datenqualität

Für die Erstellung des Ökobilanzrechners wurde als Hintergrund-Datenbank ecoinvent 3.9.1 mit dem Systemmodell „cut-off by classification“ verwendet [9]. Die im Ökobilanzrechner für Betonfertigteile angewandten Hintergrunddaten können im Projektbericht des floGeco-Rechentools [8] eingesehen werden.

Die Daten für die Produktion der durchschnittlichen Fertigteile wurden über Datenerhebungen in den 7 beteiligten Werken erfasst (mit Hilfe eines vom VÖB bereitgestellten Erhebungsbogens). Eine Prüfung auf Vollständigkeit und Plausibilität der Herstellerangaben erfolgte über mehrere Abstimmungen mit den einzelnen Herstellern. Dabei wurden die Kriterien der Bau EPD GmbH für die Datenerhebung eingehalten. Die bereitgestellten Daten wurden vor der Eingabe in den Ökobilanzrechner auf Plausibilität geprüft.

Bei der Erhebung der Vordergrunddaten (Primärdaten) in den beteiligten Werken wurden folgende Qualitätsanforderungen berücksichtigt:

- Die Kriterien der Bau EPD GmbH für die Datenerhebung und die Abgrenzung der Stoff- und Energieströme werden eingehalten.
- Die verwendeten Daten entsprechend dem Jahresdurchschnitt des Bezugsjahres 2022.
- Alle wesentlichen Daten wie Energie- und Rohstoffbedarf sowie Transportwege innerhalb der Systemgrenze wurden vom Hersteller bereitgestellt.

Die Anforderungen an die Hintergrunddaten gemäß den Vorgaben der Bau EPD GmbH (MS-HB [21]) werden mit dem angewandten Ökobilanzrechner für Betonfertigteile erfüllt. Die Hintergrund-Datenbank ecoinvent 3.9.1 [9] wurde im Jahr 2022 publiziert, beinhaltet jedoch einzelne Datensätze, deren Erhebungs- bzw. Bezugsjahr mehr als 10 Jahre (Anforderung ÖNORM EN 15804:2022 [5] bzw. Bau EPD GmbH) zurückliegt. Diese Datensätze wurden jedoch über die Jahre in den verschiedenen ecoinvent-Datenbank-Versionen unter Berücksichtigung notwendiger Anpassungen für Datenbank-Updates mitgeführt. In den Dokumentationen zur ecoinvent Datenbank v.3 („Übersicht und Methodik“ - https://ecoinvent.org/wp-content/uploads/2021/09/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf, „Dokumentation der in der ecoinvent Datenbank 3.9.1 umgesetzten Änderungen“ - <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-9-1/>) können detaillierte Informationen über die Datenqualität der ecoinvent-Datensätze eingesehen werden.

Die Modellierung der in den beteiligten Werken angewandten Strommische erfolgt über einen im Ökobilanzrechner integrierten Strom-LCA-Rechner. Die Gewichtung der einzelnen Stromzusammensetzungen für die einzelnen Hauptuntergruppen erfolgt basierend auf den Produktionsanteilen der jeweiligen Werke. Der Stromrechner ermöglicht die laut den Vorgaben der Bau EPD GmbH (MS-HB [21]) notwendige Berücksichtigung des tatsächlichen Produktmix des Stromlieferanten basierend auf der Stromkennzeichnung des eingesetzten Strommix (gem. § 78 Abs 1 und 2 EIWOG 2010 und Stromkennzeichnungsverordnung 2011 VO). Details zum Strom-LCA-Rechner können im Projektbericht des Ökobilanzrechners für Betonfertigteile [8] eingesehen werden.

3.8 Betrachtungszeitraum

Die erhobenen Daten für die betrachteten Pflastersteine und -platten entsprechen dem Jahresdurchschnitt des Produktionsjahres 2022. Die Produktions- und Absatzzahlen im Jahr 2022 wurden durch die COVID-Pandemie nicht beeinträchtigt.

3.9 Allokation

Zur Erstellung der Ökobilanz wurde der Ökobilanzrechner für Betonfertigteile der floGeco GmbH verwendet (verifizierte Rechnerversion: BAU-EPD-LCA-Tool-2024-001-FloGeco-Betonfertigteile-v05-20240918-Locked). Im Ökobilanzrechner angewandte Allokationsregeln können im Projektbericht des floGeco-Rechentools [8] eingesehen werden.

Eine ökonomische Co-Produkten-Allokation innerhalb eines Werkes (d.h. eine Aufteilung der Belastungen basierend auf den jeweiligen Anteilen der produzierten Betonfertigteile am Betriebseinkommen) ist aufgrund mangelnder Informationen in den Werken nicht möglich bzw. wollen einzelne Hersteller Daten zu Ihren Betriebseinkommen aus Vertraulichkeitsgründen (Betriebsgeheimnis) nicht offenlegen. Die Allokation für die innerhalb eines Werkes produzierten Betonfertigteile basiert deshalb auf den dazugehörigen Produktionsmengen der einzelnen Hauptuntergruppen.

Die angewandten Zement-Datensätze weisen ihre Ergebnisse entsprechend dem Verursacherprinzip nach ÖNORM EN 15804:2022 [5], CEN/TR 16970:2016 [22] und ÖNORM EN 16908:2022 [23] mit Netto-CO₂-Emissionen aus. D.h., Emissionen aus der Verbrennung von Sekundärbrennstoffen, die noch einen Abfallstatus haben, werden dem verursachenden System zugeordnet und nicht im Zement-System berücksichtigt.

Für die Zuteilung der Umweltlasten auf die Betonrohstoffe „Flugasche“ (Kohlekraftwerk), „Hochfenschlacke bzw. Hüttensand“ und „Silikastaub“ kommt die ökonomische Allokation zur Anwendung.

Für rezyklierte Gesteinskörnungen wurde die Systemgrenze mit dem Eintreffen des (vorgebrochenen) Materials in das Kieswerk gesetzt, weil ab diesem Zeitpunkt die 4 Kriterien nach ÖNORM EN 15804:2022 [5] für das Erreichen des Endes des Abfallstatus erfüllt sind.

Wiederaufbereitetes Recycling-Wasser in den Werken geht lastenfrei in die Ökobilanz ein.

Die Bewertung vorgelagerter Prozesse erfolgt durch die Nutzung von ecoinvent-Datensätzen und EPDs. Allokationsregeln in den Hintergrunddaten sind somit grundsätzlich der jeweiligen Datensatzdokumentation in ecoinvent bzw. den angewandten EPDs zu entnehmen.

Die Systemgrenze für rückgebauten Beton wird mit dem Eintreffen des rückgebauten Materials in das Recycling-Werk (C3) gesetzt, weil ab diesem Zeitpunkt die 4 Kriterien nach ÖNORM EN 15804:2022 [5] für das Erreichen des Endes des Abfallstatus erfüllt sind. Daher werden im betrachteten Produktsystem keine Belastungen aus der Wiederaufbereitung von Beton berücksichtigt (siehe 3.2 bzw. 4.4).

Gutschriften für die Substitution von primärer Gesteinskörnung bzw. von primärem Roheisen sowie für rückgewonnene Energie aus der thermischen Verwertung werden Modul D zugerechnet.

3.10 Vergleichbarkeit

Grundsätzlich ist eine Gegenüberstellung oder die Bewertung von EPD-Daten nur möglich, wenn alle zu vergleichenden Datensätze nach EN 15804 in der gleichen Version erstellt wurden, die gleichen programmspezifischen PKR bzw. etwaige zusätzliche Regeln sowie die gleiche Hintergrunddatenbank verwendet wurden und darüber hinaus der Gebäudekontext bzw. produktspezifische Leistungsmerkmale berücksichtigt werden.

4 LCA: Szenarien und weitere technische Informationen

4.1 A1-A3 Herstellungsphase

Laut ÖNORM EN 15804:2022 [5] sind für die Module A1-A3 keine technischen Szenarioangaben gefordert, weil die Bilanzierung dieser Module in der Verantwortung des Herstellers liegt und vom Verwender der Ökobilanz nicht verändert werden würden.

Die Herstellerdaten für die deklarierten Betonfertigteile wurden mit Hilfe eines Erhebungsbogens des VÖB erfasst.

Mit Hilfe des im Ökobilanzrechner integrierten Strom-LCA-Rechners erfolgt die Modellierung des für die jeweiligen Hauptuntergruppen durchschnittlichen Strommixes. Basierend auf den eingegeben (durchschnittlichen) Stromanteilen werden die Ökobilanz-Ergebnisse für den Strom auf Hoch-, Mittel- und Niederspannungsebene berechnet. Die Ökobilanzergebnisse für den Strommix auf den drei Spannungsebenen werden in die entsprechenden Bewertungen übernommen.

Im nächsten Schritt werden die einzelnen Rohstoffe (A1) des Betons (Zement, Zusatzstoffe, Gesteinskörnung, Betonzusatzmittel, Wasser) des betrachteten Fertigteils bewertet (siehe 3.2). Anschließend werden im Ökobilanzrechner die Rohstoffe (A1) des zu deklarierenden Betonfertigteils bewertet (siehe 3.2).

Hinsichtlich der Rohstofftransporte (A2) werden die (durchschnittlichen) Transportprozesse getrennt für den Transport auf der Straße, mit dem Schiff bzw. mit der Bahn betrachtet (siehe 3.2). Die Bewertung der Produktionsaufwände (siehe 3.2) basiert auf einer Datenerhebung in den beteiligten Betonfertigteilwerken.

Sämtliche im Ökobilanzrechner für die Herstellungsphase (A1-A3) angewandten Sachbilanzdatensätze inkl. Gültigkeit (Datenbank/ Quelle, Land/ Region, Referenzjahr, Veröffentlichung/ Update) sowie die geographische, technische und zeitliche Repräsentativität (ÖNORM EN 15804:2022 Annex E [5]) sämtlicher angewandten Datensätze werden in Anhang 1 des Projektberichts des Ökobilanzrechners für Betonfertigteile [8] dargestellt.

4.2 A4-A5 Errichtungsphase

Modul A4: Transport zur Einbaustelle

Pflastersteine und -platten werden überwiegend per LKW transportiert (ca. 98 % der durchschnittlichen Pflastersteine und -platten). Ein sehr kleiner Anteil der Auslieferung erfolgt mit der Bahn (ca. 2 % der durchschnittlichen Pflastersteine und -platten). Die (durchschnittlichen) Transportdistanzen für die einzelnen Rohstoffe wurden im Zuge der Datenerhebung erfasst und ausgewertet. Für die deklarierten Durchschnittsfertigteile aus mehreren Werken werden die Rohstofftransportprozesse entsprechend der Produktionsanteile der einzelnen Werke gewichtet.

Zur Modellierung der Transportprozesse zur Einbaustelle wird der ecoinvent-Datensatz „Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RER} | transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U" (LKW >32 t) angesetzt.

Tabelle 18 und Tabelle 19 zeigen die allgemeinen Parameter zur Beschreibung des Transports zur Einbaustelle mit LKW und Bahn.

Tabelle 18: Beschreibung des Szenarios „Transport zur Einbaustelle (A4) – Straße“

Parameter zur Beschreibung des Transportes zur Einbaustelle (A4)	Wert	Messgröße
Mittlere Transportentfernung	Pflastersteine: 90,33 Pflasterplatten: 136,83 Gesamtdurchschnitt: 102,67	km
Fahrzeugtyp nach Kommissionsdirektive 2007/37/EG (Europäischer Emissionsstandard)	Euro 6	-
Mittlerer Treibstoffverbrauch, Treibstofftyp: Diesel	36,47	l/100 km
Mittlere Transportmenge	15,96	t
Mittlere Auslastung (einschließlich Leerfahrten)	85	%
Mittlere Rohdichte der transportierten Produkte	Pflastersteine: 2298 Pflasterplatten: 2295 Gesamtdurchschnitt: 2297	kg/m ³
Volumen-Auslastungsfaktor (Faktor: =1 oder <1 oder ≥ 1 für in Schachteln verpackte oder komprimierte Produkte)	=1	-

Tabelle 19: Beschreibung des Szenarios „Transport zur Einbaustelle (A4) – Bahn“

Parameter zur Beschreibung des Transportes zur Einbaustelle (A4)	Wert	Messgröße
Mittlere Transportentfernung	Pflastersteine: 2,21 Pflasterplatten: - Gesamtdurchschnitt: 1,62	km
Fahrzeugtyp nach Kommissionsdirektive 2007/37/EG (Europäischer Emissionsstandard)	-	-
Mittlerer Treibstoffverbrauch, Treibstofftyp: Strom/ Diesel	6,22E-02 1,66E-03	kWh/tkm l/tkm
Mittlere Transportmenge	427	t
Mittlere Auslastung (einschließlich Leerfahrten)	45	%
Mittlere Rohdichte der transportierten Produkte	Pflastersteine: 2298 Pflasterplatten: 2295 Gesamtdurchschnitt: 2297	kg/m ³
Volumen-Auslastungsfaktor (Faktor: =1 oder <1 oder ≥ 1 für in Schachteln verpackte oder komprimierte Produkte)	=1	-

Modul A5: Einbau bzw. Installation

Für das Versetzen von Pflastersteinen und -platten sind Hilfsmaterialien wie Kiesbettung, Fugensand, usw. anzuwenden. Diese EPD für Pflastersteine und -platten bzw. der Ökobilanzrechner für Betonfertigteile fokussiert ausschließlich auf die zu deklarierenden Betonfertigteile und betrachtet keine auf der Baustelle zu ergänzenden Materialien (wie Kiesbettung, Fugensand, etc.), weil diese sehr stark von der tatsächlichen strukturellen Funktion sowie auch von der detaillierten Form des Fertigteils abhängen (Menge Fugensand, usw.) und die EPD eine ökobilanzielle Bewertung einer deklarierten Einheit von 1 Tonne Fertigteile (unabhängig von der detaillierten Geometrie und der Statik bzw. den Charakteristika des tatsächlichen Bauwerks) anstrebt. Diese Materialien sind in spezifischen EPD bzw. in ökobilanziellen Bewertungen auf Bauwerksebene (mit) zu betrachten.

Für diese EPD wird der baustelleninterne Transport der Pflastersteine und -platten im Zuge der Herstellung einer befestigten Fläche für ein Gebäude berücksichtigt, weshalb das Einheben der gebündelten Pflasterprodukte mittels Turmdrehkran bewertet wird. Aufgrund der Varianz der tatsächlichen Installationssituationen auf der Baustelle wird für alle Hauptuntergruppen im Sinne eines Worst-Case-Szenarios der Turmdrehkran mit dem größten Strombedarf (1,40 kWh/t - Liebherr 150 EC-B 8) angesetzt.

Außerdem wird im Modul A5 die Entsorgung der Verpackungsmaterialien in Form einer thermischen Verwertung von Kunststoffen (z.B. Folien) bzw. Holz (z.B. Stapelhölzer) bewertet. Auch der Transport der Verpackungsmaterialien zur thermischen Verwertung wird entsprechend bewertet (repräsentative Transportdistanz 100 km).

Tabelle 20 zeigt die allgemeinen Parameter zur Beschreibung des Einbaus der Fertigteile (A5).

Tabelle 20: Beschreibung des Szenarios „Einbau in das Bauwerk (A5)“

Parameter zur Beschreibung des Einbaus ins Gebäude (A5)	Wert	Messgröße
Hilfsstoffe für den Einbau (spezifiziert nach Stoffen)	-	kg/t t/t l/t
Hilfsmittel für den Einbau (spezifiziert nach Type)	Turmdrehkran	-
Wasserbedarf	-	m3/t l/t
Sonstiger Ressourceneinsatz	-	kg/t t/t l/t
Stromverbrauch	1,40	kWh/t
Weiterer Energieträger:	-	kWh oder MJ/t
Materialverlust auf der Baustelle vor der Abfallbehandlung, verursacht durch den Einbau des Produktes (spezifiziert nach Stoffen)	-	kg/t
Output-Stoffe (spezifiziert nach Stoffen) infolge der Abfallbehandlung auf der Baustelle, z.B. Sammlung zum Recycling, für die Energierückgewinnung, für die Entsorgung (spezifiziert nach Entsorgungsverfahren)	<u>Holz:</u> Pflastersteine: 0,25 Pflasterplatten: 0,17 Gesamtdurchschnitt: 0,23 <u>Kunststoff (PET):</u> Pflastersteine: 0,47565 Pflasterplatten: 0,33968 Gesamtdurchschnitt: 0,43957	kg/t
Direkte Emissionen in die Umgebungsluft (z.B. Staub, VOC), Boden und Wasser	-	kg/t

4.3 B1-B7 Nutzungsphase

Die Referenznutzungsdauern der deklarierten Produkte sind in Kapitel 2.12 dargestellt. In den Modulen B2-B7 gibt es keine Stoff- bzw. Massenströme, Input +/- Output = 0.

Modul B1: Nutzung

Karbonatisierung von Beton ist ein natürlicher Vorgang, bei dem in der Umgebungsluft vorhandenes CO₂ in den Beton eindringt und mit Hydratationsprodukten im Beton reagiert (Ca(OH)₂ + CO₂ -> CaCO₃ + H₂O). Diese EPD betrachtet mit Hilfe des Ökobilanzrechners für Betonfertigteile die CO₂-Aufnahme durch Karbonatisierung in der Nutzungsphase nach ÖNORM EN 16757:2023 [3]. Zur Bewertung der Karbonatisierung der hier betrachteten, durchschnittlichen Betonfertigteile werden eine repräsentative Betondruckfestigkeitsklasse (größter Mengenanteil innerhalb Hauptuntergruppe) sowie ein charakteristisches Oberflächen/Volumen-Verhältnis angesetzt.

4.4 C1-C4 Entsorgungsphase

Modul C1: Abbruch/ Rückbau

Diese EPD für Pflastersteine und -platten betrachtet den Rückbau von befestigten Flächen mittels Hydraulikbagger. Deshalb wird ein (baubetrieblich ermittelter) Default-Wert für den Abbruch mit repräsentativer Gerätschaft angesetzt, welcher auch für diese EPD bzw. für die darin betrachteten Pflastersteine und -platten angesetzt wird (siehe auch Berechnungsdateien des angewandten Ökobilanzrechners für die spezifischen Hauptuntergruppen).

Das Szenario für den Abbruch berücksichtigt ein Rückbauverfahren mit Hydraulikbaggern. Dazu wurde der Energiebedarf für den Rückbau von einer Tonne Betonstruktur (mit 62.000 m³ Rückbauvolumen – insgesamt 4 Hydraulikbagger im Einsatz) mit 33 MJ/t ermittelt, was bei einem Heizwert von 34,7 MJ/Liter Diesel einen Durchschnittlichen Dieselbedarf von 0,95 Liter pro t Fertigteil ergibt.

Tabelle 21 zeigt die allgemeinen Parameter zur Beschreibung des Rückbaus der Fertigteile (C1).

Tabelle 21: Beschreibung des Szenarios „Rückbau (C1)“

Parameter zur Beschreibung des Rückbaus (C1)	Wert	Messgröße
Hilfsstoffe für den Rückbau	-	kg/t
Hilfsmittel für den Rückbau	Betonzange und Hydraulikbagger	-
Wasserbedarf	-	m ³ /t
Sonstiger Ressourceneinsatz	-	kg/t
Stromverbrauch	-	kWh/t
Weiterer Energieträger: Diesel	33	MJ/t
Materialverlust auf der Baustelle vor der Abfallbehandlung, verursacht durch den Ausbau des Produktes	-	kg/t
Output-Stoffe infolge der Abfallbehandlung auf der Baustelle, z.B. Sammlung zum Recycling, für die Energierückgewinnung, für die Entsorgung	Recycling: 980 Deponierung: 20	kg/t
Direkte Emissionen in die Umgebungsluft (z.B. Staub, VOC), Boden und Wasser	-	kg/t

Modul C2: Transport zur Abfallbewirtschaftung bzw. Entsorgung

Der Transport der abgebrochenen Betonstrukturen erfolgt mittels LKW. Der Transport des rückgebauten Materials (Betonkomponenten) erfolgt zur Wiederaufbereitung (C3 – 98 %) und zur Deponierung (C4 – 2 %).

Für diese EPD wurde eine repräsentative Transportdistanz von 25 km für den Transport zur Wiederaufbereitung bzw. Deponierung festgelegt.

Für die Transportprozesse in Modul C2 wird ein Datensatz für ein Transportfahrzeug mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von 16-32 Tonnen (Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U) angesetzt.

Tabelle 22 zeigt die allgemeinen Parameter zur Beschreibung des Transports zur Entsorgung (C2).

Tabelle 22: Beschreibung des Szenarios „Transport Entsorgung (C2)“

Parameter zur Beschreibung des Transportes Entsorgung (C2)	Wert	Messgröße
Mittlere Transportentfernung	25	km
Fahrzeugtyp nach Kommissionsdirektive 2007/37/EG (Europäischer Emissionsstandard)	Euro 6	-
Mittlerer Treibstoffverbrauch, Treibstofftyp: Diesel bzw. Schweröl	25,26	l/100 km
Mittlere Transportmenge	5,79	t
Mittlere Auslastung (einschließlich Leerfahrten)	85 %	%
Mittlere Rohdichte der transportierten Produkte	Pflastersteine: 2298 Pflasterplatten: 2295 Gesamtdurchschnitt: 2297	kg/m ³
Volumen-Auslastungsfaktor (Faktor: =1 oder <1 oder ≥ 1 für in Schachteln verpackte oder komprimierte Produkte)	=1	-

Modul C3: Wiederaufbereitung und Wiederverwendung

Die Recycling-Anteile für die Betonkomponenten werden entsprechend berücksichtigt (für Pflastersteine und -platten 98 %). Bei dem angesetzten Recycling-Szenario handelt es sich um ein Hersteller-Szenario (siehe 2.13). Die Systemgrenze für rückgebauten Beton wird mit dem Eintreffen des rückgebauten Materials in das Recycling-Werk gesetzt, weil ab diesem Zeitpunkt die 4 Kriterien nach ÖNORM EN 15804:2022 [5] für das Erreichen des Endes des Abfallstatus erfüllt sind. Daher werden im betrachteten Produktsystem keine Belastungen aus der Wiederaufbereitung von Beton berücksichtigt.

Modul C4: Entsorgung

Die angegebenen Anteile für Deponierung (für Pflastersteine und -platten 2 % der Betonkomponenten) werden in der EPD entsprechend berücksichtigt.

Diese EPD berücksichtigt die CO₂-Aufnahme durch Karbonatisierung des rückgebauten Betons auf der Deponie nach ÖNORM EN 16757:2023 [3].

Tabelle 23 zeigt die allgemeinen Parameter zur Beschreibung der Entsorgung des Produkts.

Tabelle 23: Beschreibung des Szenarios „Entsorgung des Produkts (C1 bis C4)“

Parameter für die Entsorgungsphase (C1–C4)	Wert	Messgröße
Sammelverfahren, spezifiziert nach Art		kg getrennt
	1000	kg gemischt
Rückholverfahren, spezifiziert nach Art		kg Wiederverwendung
	980	kg Recycling
		kg Energierückgewinnung
Deponierung, spezifiziert nach Art	20	kg Deponierung

4.5 D Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial

Nach Erreichen des Endes der Abfalleigenschaften kann der aufbereitete Beton (Betongranulat) primäre Gesteinskörnungen ersetzen und somit deren Produktion substituieren. Diese EPD berücksichtigt eine entsprechende Bewertung des Recyclingpotentials von Beton in Modul D.

Die in Modul A5 anfallenden Verpackungsmaterialien werden einer thermischen Verwertung zugeführt. Für die thermische Verwertung der Verpackung wird angesetzt, dass sich die Energierückgewinnung auf 1/3 Strom sowie 2/3 Wärme aufteilt, was im Modul D als entsprechendes Substitutionspotential berücksichtigt wird.

Tabelle 24: Beschreibung des Szenarios „Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial (Modul D)“

Parameter für das Modul (D)	Wert	Messgröße
Materialien für Wiederverwendung oder Recycling aus A4-A5	-	%
Energierückgewinnung bzw. Sekundärbrennstoffe aus A4-A5	<p><u>Holz:</u> Pflastersteine: 0,25 Pflasterplatten: 0,17 Gesamtdurchschnitt: 0,23</p> <p><u>Kunststoff (PET):</u> Pflastersteine: 0,47565 Pflasterplatten: 0,33968 Gesamtdurchschnitt: 0,43957</p>	kg/t
Materialien für Wiederverwendung oder Recycling aus B2-B5	-	%
Energierückgewinnung bzw. Sekundärbrennstoffe aus B2-B5	-	kg/t
Materialien für Wiederverwendung oder Recycling aus C1-C4	98	%
Energierückgewinnung bzw. Sekundärbrennstoffe aus C1-C4	-	kg/t

5 LCA: Ergebnisse

Die mit dem angewandten Ökobilanzrechner für Betonfertigteile berechenbaren Parameter bzw. Ökobilanzergebnisse entsprechen einer Bilanzierung nach ÖNORM EN 15804:2022 [5]. Es werden deshalb die ÖNORM EN 15804:2022 [5] angeführten Charakterisierungsfaktoren (Joint Research Center, EF 3.1) der Wirkungsabschätzung angewandt.

Es gilt anzumerken, dass die Wirkungsabschätzungsergebnisse nur relative Aussagen sind, die keine Aussagen über „Endpunkte“ der Wirkungskategorien, Überschreitung von Schwellenwerten, Sicherheitsmarken oder über Risiken enthalten.

5.1 LCA: Ergebnisse Hauptuntergruppe "Pflastersteine"

Tabelle 25: Ergebnisse Kernindikatoren für die Umweltwirkungen pro Tonne Pflastersteine

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
GWP-gesamt	kg CO ₂ äquiv	74,243	4,418	3,515	82,175	9,135	1,922	-8,097	3,275	4,621	0,000	0,122	-0,648	-2,072	-2,665	0,000
GWP-fossil	kg CO ₂ äquiv	74,231	4,416	3,926	82,573	9,131	1,508	-8,097	3,275	4,619	0,000	0,122	-0,648	-2,072	-2,664	0,000
GWP-biogen	kg CO ₂ äquiv	0,000	0,000	-0,414	-0,414	0,000	0,414	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GWP-luluc	kg CO ₂ äquiv	0,012	0,002	0,002	0,016	0,005	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000
ODP	kg CFC-11 äquiv	2,06E-07	9,62E-08	1,10E-07	4,12E-07	2,07E-07	1,00E-08	0,00E+00	5,21E-08	1,01E-07	0,00E+00	3,52E-09	0,00E+00	-8,86E-08	-4,57E-08	0,00E+00
AP	mol H ⁺ äquiv	1,23E-01	9,65E-03	2,67E-02	1,59E-01	2,28E-02	1,32E-03	0,00E+00	3,04E-02	1,01E-02	0,00E+00	9,16E-04	0,00E+00	-2,16E-03	-2,18E-02	0,00E+00
EP-Süßwasser	kg PO ₄ ³⁻ äquiv	1,48E-02	3,14E-04	8,72E-04	1,60E-02	7,17E-04	3,64E-04	0,00E+00	1,01E-04	3,28E-04	0,00E+00	1,01E-05	0,00E+00	-2,96E-04	-3,98E-04	0,00E+00
EP-Salzwasser	kg N äquiv	4,64E-02	2,44E-03	1,02E-02	5,91E-02	6,24E-03	4,38E-04	0,00E+00	1,41E-02	2,55E-03	0,00E+00	3,52E-04	0,00E+00	-7,08E-04	-9,77E-03	0,00E+00
EP-Land	mol N äquiv	0,519	0,025	0,110	0,654	0,064	0,004	0,000	0,153	0,026	0,000	0,004	0,000	-0,007	-0,100	0,000
POCP	kg NMVOC äquiv	1,25E-01	1,50E-02	3,42E-02	1,75E-01	3,70E-02	1,17E-03	0,00E+00	4,53E-02	1,57E-02	0,00E+00	1,31E-03	0,00E+00	-3,95E-03	-3,00E-02	0,00E+00
ADP-Mineralien und Metalle	kg Sb äquiv	3,39E-05	1,44E-05	3,40E-05	8,24E-05	2,56E-05	1,01E-06	0,00E+00	1,14E-06	1,51E-05	0,00E+00	1,69E-07	0,00E+00	-1,30E-06	-1,25E-05	0,00E+00
ADP-fossile Energieträger	MJ H _u	251,989	62,715	53,100	367,804	138,427	5,862	0,000	42,885	65,602	0,000	3,028	0,000	-30,629	-46,366	0,000
WDP	m ³ Welt äquiv entzogen	2,595	0,259	0,518	3,372	0,667	0,095	0,000	0,092	0,270	0,000	0,134	0,000	-0,097	-0,654	0,000
Legende	GWP = Globales Erwärmungspotenzial; luluc = Landnutzung und Landnutzungsänderung; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADP = Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen; WDP = Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer) A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

Tabelle 26: Ergebnisse zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren pro Tonne Pflastersteine

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
PM*	Auftreten von Krankheiten	8,91E-07	3,29E-07	6,24E-07	1,84E-06	9,01E-07	7,14E-09	0,00E+00	8,46E-07	3,44E-07	0,00E+00	2,01E-08	0,00E+00	-1,08E-08	-5,70E-07	0,00E+00
IRP*	kBq U235 äquiv	1,850	0,085	0,194	2,129	0,184	0,081	0,000	0,020	0,089	0,000	0,002	0,000	-0,069	-0,899	0,000
ETP-fw*	CTUe	70,498	31,005	23,295	124,798	66,416	3,384	0,000	20,493	32,432	0,000	1,422	0,000	-1,940	-19,421	0,000
HTP-c*	CTUh	4,89E-09	2,01E-09	2,27E-09	9,18E-09	4,13E-09	2,27E-10	0,00E+00	1,00E-09	2,11E-09	0,00E+00	5,17E-11	0,00E+00	-3,39E-10	-3,81E-09	0,00E+00
HTP-nc*	CTUh	6,78E-08	4,45E-08	4,75E-08	1,60E-07	9,90E-08	6,61E-09	0,00E+00	6,97E-09	4,66E-08	0,00E+00	6,47E-10	0,00E+00	-4,15E-09	-2,32E-08	0,00E+00
SQP*	Punkte	9,697	37,919	66,967	114,583	140,306	1,784	0,000	2,889	39,664	0,000	6,013	0,000	-1,597	27,414	0,000
Legende	PM = Potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen; IRP = Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235; ETP-fw = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme - Süßwasser; HTP-c = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen - kanzerogene Wirkung; HTP-nc = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen - nicht kanzerogene Wirkung; SQP = Potenzieller Bodenqualitätsindex A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

*die im Rechner für den Zusatzstoff Pigmente, sämtliche Zusatzmittel, den Spannstahl, Baustahl und feuerverzinkten Stahl angewandten Datensätze (IBU-EPD) weisen keine Ergebnisse für diese Indikatoren aus (deshalb keine Belastungen aus diesen Datensätzen für diese Indikatoren)

Tabelle 27: Ergebnisse Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes pro Tonne Pflastersteine

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
PERE	MJ H _u	62,812	0,986	57,907	121,704	2,422	6,336	0,000	0,244	1,031	0,000	0,026	0,000	-2,914	-14,714	0,000
PERM	MJ H _u	0,181	0,000	2,516	2,697	0,000	-2,516	0,000	0,000	0,000	-0,177	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PERT	MJ H _u	62,993	0,986	60,422	124,401	2,422	3,821	0,000	0,244	1,031	-0,177	0,026	0,000	-2,914	-14,714	0,000
PENRE	MJ H _u	241,182	62,716	42,184	346,082	138,430	16,778	0,000	42,885	65,603	0,000	3,029	0,000	-30,629	-46,367	0,000
PENRM	MJ H _u	10,855	0,000	10,916	21,771	0,000	-10,916	0,000	0,000	0,000	-10,638	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PENRT	MJ H _u	252,037	62,716	53,100	367,853	138,430	5,862	0,000	42,885	65,603	-10,638	3,029	0,000	-30,629	-46,367	0,000
SM	kg	21,182	0,000	0,000	21,182	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
RSF	MJ H _u	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NRSF	MJ H _u	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FW	m ³	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Legende	PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht-erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

*ND: Indicator Not Declared: die ecoinvent-Datensätze lassen keine vollständige Erfassung des Einsatzes von Süßwasserressourcen zu

Tabelle 28: Ergebnisse Abfallkategorien und Outputflüsse pro Tonne Pflastersteine

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
HWD	kg	5,45E-04	3,99E-04	2,80E-04	1,22E-03	8,57E-04	1,30E-05	0,00E+00	2,89E-04	4,17E-04	0,00E+00	1,60E-05	0,00E+00	-1,26E-04	-2,24E-04	0,00E+00
NHWD	kg	1,736	3,117	0,577	5,430	12,054	0,079	0,000	0,061	3,260	0,000	19,995	0,000	-0,063	-0,396	0,000
RWD	kg	1,62E-03	3,76E-05	9,02E-05	1,75E-03	8,08E-05	3,89E-05	0,00E+00	8,42E-06	3,93E-05	0,00E+00	8,01E-07	0,00E+00	-3,30E-05	-3,74E-04	0,00E+00
CRU	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MFR	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MER	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EEE	MJ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EET	MJ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Legende	HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EEE = Exportierte Energie elektrisch; EET = Exportierte Energie thermisch A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

Tabelle 29: Ergebnisse biogener Kohlenstoffgehalt am Werkstor pro Tonne Pflastersteine

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3
C-Gehalt-Produkt	kg C	0,000	0,000	0,000	0,000
C-Gehalt-Verpackung	kg C	0,000	0,000	0,112	0,112
Legende	A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse				

5.2 LCA: Ergebnisse Hauptuntergruppe "Pflasterplatten"

Tabelle 30: Ergebnisse Kernindikatoren für die Umweltwirkungen pro Tonne Pflasterplatten

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
GWP-gesamt	kg CO ₂ äquiv	80,967	6,229	2,032	89,229	13,709	1,462	-8,841	3,275	4,621	0,000	0,122	-0,707	-1,467	-2,668	0,000
GWP-fossil	kg CO ₂ äquiv	80,951	6,226	2,313	89,491	13,703	1,179	-8,841	3,275	4,619	0,000	0,122	-0,707	-1,467	-2,666	0,000
GWP-biogen	kg CO ₂ äquiv	0,000	0,000	-0,283	-0,283	0,000	0,283	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GWP-luluc	kg CO ₂ äquiv	0,016	0,003	0,002	0,021	0,007	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000
ODP	kg CFC-11 äquiv	2,22E-07	1,36E-07	5,48E-08	4,12E-07	3,11E-07	9,57E-09	0,00E+00	5,21E-08	1,01E-07	0,00E+00	3,52E-09	0,00E+00	-6,27E-08	-4,58E-08	0,00E+00
AP	mol H ⁺ äquiv	1,32E-01	1,36E-02	1,69E-02	1,63E-01	3,39E-02	1,22E-03	0,00E+00	3,04E-02	1,01E-02	0,00E+00	9,16E-04	0,00E+00	-1,53E-03	-2,19E-02	0,00E+00
EP-Süßwasser	kg PO ₄ ³⁻ äquiv	1,61E-02	4,43E-04	8,43E-04	1,74E-02	1,01E-03	3,63E-04	0,00E+00	1,01E-04	3,28E-04	0,00E+00	1,01E-05	0,00E+00	-2,10E-04	-3,98E-04	0,00E+00
EP-Salzwasser	kg N äquiv	5,04E-02	3,43E-03	6,27E-03	6,01E-02	9,24E-03	3,87E-04	0,00E+00	1,41E-02	2,55E-03	0,00E+00	3,52E-04	0,00E+00	-5,01E-04	-9,78E-03	0,00E+00
EP-Land	mol N äquiv	0,559	0,035	0,067	0,661	0,095	0,003	0,000	0,153	0,026	0,000	0,004	0,000	-0,005	-0,100	0,000
POCP	kg NMVOC äquiv	1,35E-01	2,11E-02	2,04E-02	1,76E-01	5,54E-02	1,05E-03	0,00E+00	4,53E-02	1,57E-02	0,00E+00	1,31E-03	0,00E+00	-2,79E-03	-3,00E-02	0,00E+00
ADP-Mineralien und Metalle	kg Sb äquiv	3,27E-05	2,04E-05	2,36E-05	7,67E-05	3,83E-05	9,81E-07	0,00E+00	1,14E-06	1,51E-05	0,00E+00	1,69E-07	0,00E+00	-9,17E-07	-1,25E-05	0,00E+00
ADP-fossile Energieträger	MJ H ₂	272,165	88,431	31,030	391,625	207,984	5,735	0,000	42,885	65,602	0,000	3,028	0,000	-21,689	-46,408	0,000
WDP	m ³ Welt äquiv entzogen	2,841	0,365	0,415	3,621	0,993	0,081	0,000	0,092	0,270	0,000	0,134	0,000	-0,069	-0,655	0,000
Legende	GWP = Globales Erwärmungspotenzial; luluc = Landnutzung und Landnutzungsänderung; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADP = Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen; WDP = Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer) A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

Tabelle 31: Ergebnisse zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren pro Tonne Pflasterplatten

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
PM*	Auftreten von Krankheiten	9,36E-07	4,64E-07	3,85E-07	1,78E-06	1,36E-06	6,33E-09	0,00E+00	8,46E-07	3,44E-07	0,00E+00	2,01E-08	0,00E+00	-7,66E-09	-5,71E-07	0,00E+00
IRP*	kBq U235 äquiv	1,936	0,120	0,190	2,245	0,262	0,081	0,000	0,020	0,089	0,000	0,002	0,000	-0,049	-0,900	0,000
ETP-fw*	CTUe	75,709	43,719	15,885	135,313	100,026	2,708	0,000	20,493	32,432	0,000	1,422	0,000	-1,374	-19,438	0,000
HTP-c*	CTUh	5,07E-09	2,84E-09	1,66E-09	9,57E-09	6,10E-09	1,93E-10	0,00E+00	1,00E-09	2,11E-09	0,00E+00	5,17E-11	0,00E+00	-2,40E-10	-3,81E-09	0,00E+00
HTP-nc*	CTUh	7,25E-08	6,28E-08	3,34E-08	1,69E-07	1,49E-07	5,42E-09	0,00E+00	6,97E-09	4,66E-08	0,00E+00	6,47E-10	0,00E+00	-2,94E-09	-2,32E-08	0,00E+00
SQP*	Punkte	13,583	53,467	44,208	111,258	211,096	1,729	0,000	2,889	39,664	0,000	6,013	0,000	-1,131	27,438	0,000
Legende	PM = Potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen; IRP = Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235; ETP-fw = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme - Süßwasser; HTP-c = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen - kanzerogene Wirkung; HTP-nc = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen - nicht kanzerogene Wirkung; SQP = Potenzieller Bodenqualitätsindex A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

*die im Rechner für den Zusatzstoff Pigmente, sämtliche Zusatzmittel, den Spannstahl, Baustahl und feuerverzinkten Stahl angewandten Datensätze (IBU-EPD) weisen keine Ergebnisse für diese Indikatoren aus (deshalb keine Belastungen aus diesen Datensätzen für diese Indikatoren)

Tabelle 32: Ergebnisse Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes pro Tonne Pflasterplatten

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
PERE	MJ H ₀	66,675	1,390	71,554	139,619	3,042	5,536	0,000	0,244	1,031	0,000	0,026	0,000	-2,063	-14,727	0,000
PERM	MJ H ₀	0,199	0,000	1,719	1,918	0,000	-1,719	0,000	0,000	0,000	-0,195	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PERT	MJ H ₀	66,874	1,390	73,273	141,538	3,042	3,817	0,000	0,244	1,031	-0,195	0,026	0,000	-2,063	-14,727	0,000
PENRE	MJ H ₀	261,354	88,432	23,234	373,020	207,988	13,531	0,000	42,885	65,603	0,000	3,029	0,000	-21,689	-46,409	0,000
PENRM	MJ H ₀	10,869	0,000	7,796	18,664	0,000	-7,796	0,000	0,000	0,000	-10,651	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PENRT	MJ H ₀	272,223	88,432	31,030	391,685	207,988	5,735	0,000	42,885	65,603	-10,651	3,029	0,000	-21,689	-46,409	0,000
SM	kg	20,315	0,000	0,000	20,315	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
RSF	MJ H ₀	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NRSF	MJ H ₀	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FW	m ³	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Legende	PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht-erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

*ND: Indicator Not Declared: die ecoinvent-Datensätze lassen keine vollständige Erfassung des Einsatzes von Süßwasserressourcen zu

Tabelle 33: Ergebnisse Abfallkategorien und Outputflüsse pro Tonne Pflasterplatten

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
HWD	kg	5,93E-04	5,63E-04	1,50E-04	1,31E-03	1,29E-03	1,22E-05	0,00E+00	2,89E-04	4,17E-04	0,00E+00	1,60E-05	0,00E+00	-8,90E-05	-2,24E-04	0,00E+00
NHWD	kg	1,834	4,395	0,538	6,767	18,226	0,066	0,000	0,061	3,260	0,000	19,995	0,000	-0,045	-0,396	0,000
RWD	kg	1,78E-03	5,30E-05	8,90E-05	1,92E-03	1,15E-04	3,88E-05	0,00E+00	8,42E-06	3,93E-05	0,00E+00	8,01E-07	0,00E+00	-2,33E-05	-3,74E-04	0,00E+00
CRU	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MFR	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MER	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EEE	MJ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EET	MJ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Legende	HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EEE = Exportierte Energie elektrisch; EET = Exportierte Energie thermisch A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

Tabelle 34: Ergebnisse biogener Kohlenstoffgehalt am Werkstor pro Tonne Pflasterplatten

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3
C-Gehalt-Produkt	kg C	0,000	0,000	0,000	0,000
C-Gehalt-Verpackung	kg C	0,000	0,000	0,077	0,077
Legende	A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse				

5.3 LCA: Ergebnisse Hauptuntergruppe "Gesamtdurchschnitt"

Tabelle 35: Ergebnisse Kernindikatoren für die Umweltwirkungen pro Tonne Gesamtdurchschnitt

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
GWP-gesamt	kg CO ₂ äquiv	76,189	4,899	3,148	84,236	10,349	1,800	-8,294	3,275	4,621	0,000	0,122	-0,664	-1,912	-2,666	0,000
GWP-fossil	kg CO ₂ äquiv	76,174	4,896	3,525	84,595	10,344	1,421	-8,294	3,275	4,619	0,000	0,122	-0,664	-1,911	-2,665	0,000
GWP-biogen	kg CO ₂ äquiv	0,000	0,000	-0,379	-0,379	0,000	0,379	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GWP-luluc	kg CO ₂ äquiv	0,015	0,002	0,002	0,020	0,005	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000
ODP	kg CFC-11 äquiv	2,10E-07	1,07E-07	9,71E-08	4,14E-07	2,35E-07	9,89E-09	0,00E+00	5,21E-08	1,01E-07	0,00E+00	3,52E-09	0,00E+00	-8,17E-08	-4,58E-08	0,00E+00
AP	mol H ⁺ äquiv	1,25E-01	1,07E-02	2,42E-02	1,60E-01	2,58E-02	1,29E-03	0,00E+00	3,04E-02	1,01E-02	0,00E+00	9,16E-04	0,00E+00	-1,99E-03	-2,18E-02	0,00E+00
EP-Süßwasser	kg PO ₄ ³⁻ äquiv	1,52E-02	3,48E-04	8,63E-04	1,64E-02	7,95E-04	3,64E-04	0,00E+00	1,01E-04	3,28E-04	0,00E+00	1,01E-05	0,00E+00	-2,73E-04	-3,98E-04	0,00E+00
EP-Salzwasser	kg N äquiv	4,78E-02	2,70E-03	9,20E-03	5,97E-02	7,04E-03	4,24E-04	0,00E+00	1,41E-02	2,55E-03	0,00E+00	3,52E-04	0,00E+00	-6,53E-04	-9,77E-03	0,00E+00
EP-Land	mol N äquiv	0,530	0,027	0,099	0,656	0,072	0,004	0,000	0,153	0,026	0,000	0,004	0,000	-0,007	-0,100	0,000
POCP	kg NMVOC äquiv	1,28E-01	1,66E-02	3,06E-02	1,75E-01	4,19E-02	1,13E-03	0,00E+00	4,53E-02	1,57E-02	0,00E+00	1,31E-03	0,00E+00	-3,64E-03	-3,00E-02	0,00E+00
ADP-Mineralien und Metalle	kg Sb äquiv	3,19E-05	1,60E-05	3,13E-05	7,91E-05	2,90E-05	1,00E-06	0,00E+00	1,14E-06	1,51E-05	0,00E+00	1,69E-07	0,00E+00	-1,20E-06	-1,25E-05	0,00E+00
ADP-fossile Energieträger	MJ H _u	260,097	69,538	47,617	377,252	156,885	5,828	0,000	42,885	65,602	0,000	3,028	0,000	-28,257	-46,377	0,000
WDP	m ³ Welt äquiv entzogen	2,669	0,287	0,494	3,450	0,753	0,091	0,000	0,092	0,270	0,000	0,134	0,000	-0,089	-0,654	0,000
Legende	GWP = Globales Erwärmungspotenzial; luluc = Landnutzung und Landnutzungsänderung; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADP = Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen; WDP = Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer) A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

Tabelle 36: Ergebnisse zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren pro Tonne Gesamtdurchschnitt

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
PM*	Auftreten von Krankheiten	9,03E-07	3,65E-07	5,61E-07	1,83E-06	1,02E-06	6,92E-09	0,00E+00	8,46E-07	3,44E-07	0,00E+00	2,01E-08	0,00E+00	-9,98E-09	-5,70E-07	0,00E+00
IRP*	kBq U235 äquiv	1,873	0,094	0,192	2,159	0,204	0,081	0,000	0,020	0,089	0,000	0,002	0,000	-0,064	-0,899	0,000
ETP-fw*	CTUe	71,875	34,378	21,341	127,594	75,335	3,205	0,000	20,493	32,432	0,000	1,422	0,000	-1,790	-19,425	0,000
HTP-c*	CTUh	4,94E-09	2,23E-09	2,12E-09	9,29E-09	4,65E-09	2,18E-10	0,00E+00	1,00E-09	2,11E-09	0,00E+00	5,17E-11	0,00E+00	-3,13E-10	-3,81E-09	0,00E+00
HTP-nc*	CTUh	6,90E-08	4,94E-08	4,38E-08	1,62E-07	1,12E-07	6,29E-09	0,00E+00	6,97E-09	4,66E-08	0,00E+00	6,47E-10	0,00E+00	-3,83E-09	-2,32E-08	0,00E+00
SQP*	Punkte	10,733	42,044	61,264	114,041	159,091	1,769	0,000	2,889	39,664	0,000	6,013	0,000	-1,473	27,420	0,000
Legende	PM = Potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen; IRP = Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235; ETP-fw = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme - Süßwasser; HTP-c = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen - kanzerogene Wirkung; HTP-nc = Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen - nicht kanzerogene Wirkung; SQP = Potenzieller Bodenqualitätsindex A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

*die im Rechner für den Zusatzstoff Pigmente, sämtliche Zusatzmittel, den Spannstahl, Baustahl und feuerverzinkten Stahl angewandten Datensätze (IBU-EPD) weisen keine Ergebnisse für diese Indikatoren aus (deshalb keine Belastungen aus diesen Datensätzen für diese Indikatoren)

Tabelle 37: Ergebnisse Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes pro Tonne Gesamtdurchschnitt

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
PERE	MJ H _u	63,684	1,093	61,397	126,174	2,587	6,124	0,000	0,244	1,031	0,000	0,026	0,000	-2,688	-14,717	0,000
PERM	MJ H _u	0,198	0,000	2,304	2,502	0,000	-2,304	0,000	0,000	0,000	-0,194	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PERT	MJ H _u	63,882	1,093	63,701	128,676	2,587	3,820	0,000	0,244	1,031	-0,194	0,026	0,000	-2,688	-14,717	0,000
PENRE	MJ H _u	249,377	69,539	37,529	356,445	156,888	15,916	0,000	42,885	65,603	0,000	3,029	0,000	-28,257	-46,378	0,000
PENRM	MJ H _u	10,778	0,000	10,088	20,866	0,000	-10,088	0,000	0,000	0,000	-10,562	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PENRT	MJ H _u	260,155	69,539	47,617	377,311	156,888	5,828	0,000	42,885	65,603	-10,562	3,029	0,000	-28,257	-46,378	0,000
SM	kg	20,957	0,000	0,000	20,957	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
RSF	MJ H _u	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NRSF	MJ H _u	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FW	m ³	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Legende	PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht-erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

*ND: Indicator Not Declared: die ecoinvent-Datensätze lassen keine vollständige Erfassung des Einsatzes von Süßwasserressourcen zu

Tabelle 38: Ergebnisse Abfallkategorien und Outputflüsse pro Tonne Gesamtdurchschnitt

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1 - Karb	C1	C2	C3	C4	C4 - Karb	D aus A5	D aus C3	D aus C4
HWD	kg	5,68E-04	4,42E-04	2,47E-04	1,26E-03	9,73E-04	1,28E-05	0,00E+00	2,89E-04	4,17E-04	0,00E+00	1,60E-05	0,00E+00	-1,16E-04	-2,24E-04	0,00E+00
NHWD	kg	1,746	3,456	0,567	5,770	13,692	0,075	0,000	0,061	3,260	0,000	19,995	0,000	-0,058	-0,396	0,000
RWD	kg	1,74E-03	4,16E-05	8,97E-05	1,88E-03	8,99E-05	3,88E-05	0,00E+00	8,42E-06	3,93E-05	0,00E+00	8,01E-07	0,00E+00	-3,04E-05	-3,74E-04	0,00E+00
CRU	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MFR	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MER	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EEE	MJ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EET	MJ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Legende	HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EEE = Exportierte Energie elektrisch; EET = Exportierte Energie thermisch A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse, C1 = Rückbauprozesse, C2 = Transportprozesse Rückbaumaterial, C3 = Wiederaufbereitung/ Recycling, C4 = Entsorgung, D = Substitution im nächsten Produkt															

Tabelle 39: Ergebnisse biogener Kohlenstoffgehalt am Werkstor pro Tonne Gesamtdurchschnitt

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A1-A3
C-Gehalt-Produkt	kg C	0,000	0,000	0,000	0,000
C-Gehalt-Verpackung	kg C	0,000	0,000	0,103	0,103
Legende	A1 = Rohstoffe, A2 = Transportprozesse, A3 = Herstellungsprozesse				

Tabelle 40 zeigt die Einschränkungshinweise hinsichtlich der Deklaration maßgebender Kern- und zusätzlicher Umweltwirkungsindikatoren, die in den jeweiligen Projektberichten und EPD-Dokumenten platziert werden müssen.

Tabelle 40: Klassifizierung von Einschränkungshinweisen zur Deklaration von Kern- und zusätzlichen Umweltindikatoren

ILCD-Klassifizierung	Indikator	Einschränkungshinweis
ILCD-Typ 1	Treibhauspotenzial (GWP, en: Global Warming Potential)	keine
	Potenzial des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht, (ODP, en: Ozone Depletion Potential)	keine
	potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen (PM, en: Particulate Matter)	keine
ILCD-Typ 2	Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung (AP, en: Acidification Potential)	keine
	Eutrophierungspotenzial, in das Süßwasser gelangende Nährstoffanteile (EP-Süßwasser)	keine
	Eutrophierungspotenzial, in das Salzwasser gelangende Nährstoffanteile (EP-Salzwasser)	keine
	Eutrophierungspotenzial, kumulierte Überschreitung (EP-Land)	keine
	troposphärisches Ozonbildungspotenzial (POCP, en: Photochemical Ozone Creation Potential)	keine
	potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IRP, en: Ionizing Radiation Potential)	1
ILCD-Typ 3	Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen für nicht fossile Ressourcen (ADP-Mineralien und Metalle)	2
	Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen für fossile Ressourcen (ADP-fossil)	2
	Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer), entzugsgewichteter Wasserverbrauch (WDP, en: Water Deprivation Potential)	2
	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme (ETP-fw)	2
	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-c)	2
	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-nc)	2
	potenzieller Bodenqualitätsindex (SQP, en: Soil Quality Index)	2
Einschränkungshinweis 1 — Diese Wirkungskategorie behandelt hauptsächlich die mögliche Wirkung einer ionisierenden Strahlung geringer Dosis auf die menschliche Gesundheit im Kernbrennstoffkreislauf. Sie berücksichtigt weder Auswirkungen, die auf mögliche nukleare Unfälle und berufsbedingte Exposition zurückzuführen sind, noch auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle in unterirdischen Anlagen. Die potenzielle vom Boden, von Radon und von einigen Baustoffen ausgehende ionisierende Strahlung wird ebenfalls nicht von diesem Indikator gemessen.		
Einschränkungshinweis 2 — Die Ergebnisse dieses Umweltwirkungsindikators müssen mit Bedacht angewendet werden, da die Unsicherheiten bei diesen Ergebnissen hoch sind oder da es mit dem Indikator nur begrenzte Erfahrungen gibt.		

6 LCA: Interpretation

Es gilt anzumerken, dass die Wirkungsabschätzungsergebnisse nur relative Aussagen sind, die keine Aussagen über „Endpunkte“ der Wirkungskategorien, Überschreitung von Schwellenwerten, Sicherheitsmarken oder über Risiken enthalten.

Alle wesentlichen Daten wie Energie- und Rohstoffbedarf sowie Transportwege innerhalb der Systemgrenze wurden von den Herstellern zur Erstellung der Ökobilanz bereitgestellt. Die Anforderungen an die Hintergrunddaten gemäß den Vorgaben der Bau EPD GmbH (MS-HB [2]) werden erfüllt. Die Qualität der angewandten Daten ermöglicht deshalb die Erstellung von plausiblen und aussagekräftigen Ökobilanz-Ergebnissen.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. bis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigen die Dominanzanalysen der Module A1 bis C4 für die betrachteten durchschnittlichen Betonfertigteile.

Die Betonrohstoffe (A1) haben bei allen betrachteten Hauptuntergruppen für fast alle Indikatoren (bis auf HWD und NHWD) den größten Einfluss auf die Ergebnisse von A1-C4 (ohne Karbonatisierung und Modul D), gefolgt von den Herstellungsprozesse im Werk (A3), den Transporten zur Baustelle (A4) bzw. den Transporten der Rohstoffe (A2) (Reihenfolge variiert in Abhängigkeit des Parameters). Bei HWD hat der Transport zur Baustelle (A4) den höchsten Einfluss. Für NHWD hat die Deponierung (C4) den größten Einfluss auf die Ergebnisse von A1-C4.

Der Einbau (A5) mittels Turmdrehkran ist bei einer Betrachtung von A1-C4 (ohne Karbonatisierung und Modul D) bei allen Hauptuntergruppen für alle Indikatoren von geringerer Bedeutung. Der Abbruch (C1) mittels Hydraulikbagger hat im Vergleich zum Einheben einen entsprechend höheren Einfluss auf die Ergebnisse A1-C4 (ohne Karbonatisierung und Modul D), was auf den höheren Energiebedarf für das Zerstören von Betonstrukturen zurückzuführen ist.

Die Bedeutung des Transports der rückgebauten Materialien zur Wiederaufbereitung bzw. Entsorgung (C2) ist sehr stark von der Transportdistanz abhängig. Für einen Transport über 25 km ist der Einfluss von Modul C2 auf A1-C4 (ohne Karbonatisierung und Modul D) für alle Indikatoren gering.

Die Systemgrenze für rückgebauten Beton wird mit dem Eintreffen des rückgebauten Materials in das Recycling-Werk (C3) gesetzt, weil ab diesem Zeitpunkt die 4 Kriterien nach ÖNORM EN 15804:2022 [4] für das Erreichen des Endes des Abfallstatus erfüllt sind. Daher werden im betrachteten Produktsystem keine Belastungen aus der Wiederaufbereitung von Beton berücksichtigt.

Der Einfluss der Deponierung von Beton (C4) ist sehr stark von der Recycling-Quote abhängig. Bei sehr hohen Recycling-Anteilen wie in dieser EPD (98 %) ist ein unbedeutender Einfluss (ausgenommen für den NHWD-Indikator) der Deponierungsprozesse auf die Ergebnisse für A1-C4 zu erkennen.

Der Einfluss der Karbonatisierung in B1 ist sehr stark vom Oberflächen/ Volumen-Verhältnis und der Betondruckfestigkeitsklasse der betrachteten Fertigteile abhängig. Bei durchschnittlichen österreichischen Pflastersteinen liegt das Oberflächen/ Volumen-Verhältnis in der Kategorie zwischen $> 8 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (durchschnittliche Steindicke 8 cm), was für einen Beton der Kategorie C25/30 - C35/45 ein Karbonisierungspotenzial von ca. -8 % des GWP-gesamt von A1-C4 bedeutet. Die Karbonatisierung in B1 reicht für die betrachteten Hauptuntergruppen von ca. -8 % (Pflasterstein) bis ca. -7,8 % (Pflasterplatte) des GWP-gesamt von A1-C4.

Die Karbonatisierung auf der Deponie (C4) ist sehr stark von der Recycling-Quote abhängig. Bei einem hohen Recycling- und folglich niedrigem Deponierungsanteil wie in dieser EPD angesetzt ist ein geringes Karbonisierungspotenzial des Betonabbruchs zu erwarten (ca. -0,6 % des GWP-gesamt von A1-C4 für den Gesamtdurchschnitt).

Die möglichen Potentiale in Modul D aus der Verbrennung von Verpackungen und Transporthilfen sind abhängig von den jeweiligen Einsatzmengen, die für den hier betrachteten Gesamtdurchschnitt von Pflastersteinen und -platten eine Reduktion von ca. -1,8 % des GWP-gesamt von A1-C4 bewirken.

Die Potentiale durch die Anwendung von rezyklierten Beton in einem Folgeprodukt (D aus C3) hängen stark von der Recycling-Quote ab, welche in dieser EPD mit 98 % sehr hoch angesetzt wurde. Der Einfluss von D aus C3 für rezyklierten Beton ist aufgrund der Nettofluss-Regel von der Einsatzmenge an rezyklierter Gesteinskörnung als Rohstoff (A1) abhängig und ist aufgrund des verhältnismäßig geringen Einflusses der zu substituierenden natürlichen Gesteinskörnung (für den Großteil der Indikatoren) eher gering. Für den Gesamtdurchschnitt der betrachteten Pflastersteine und -platten ergibt sich so z.B. ein Benefit von ca. -2,7 % des GWP-gesamt von A1-C4.

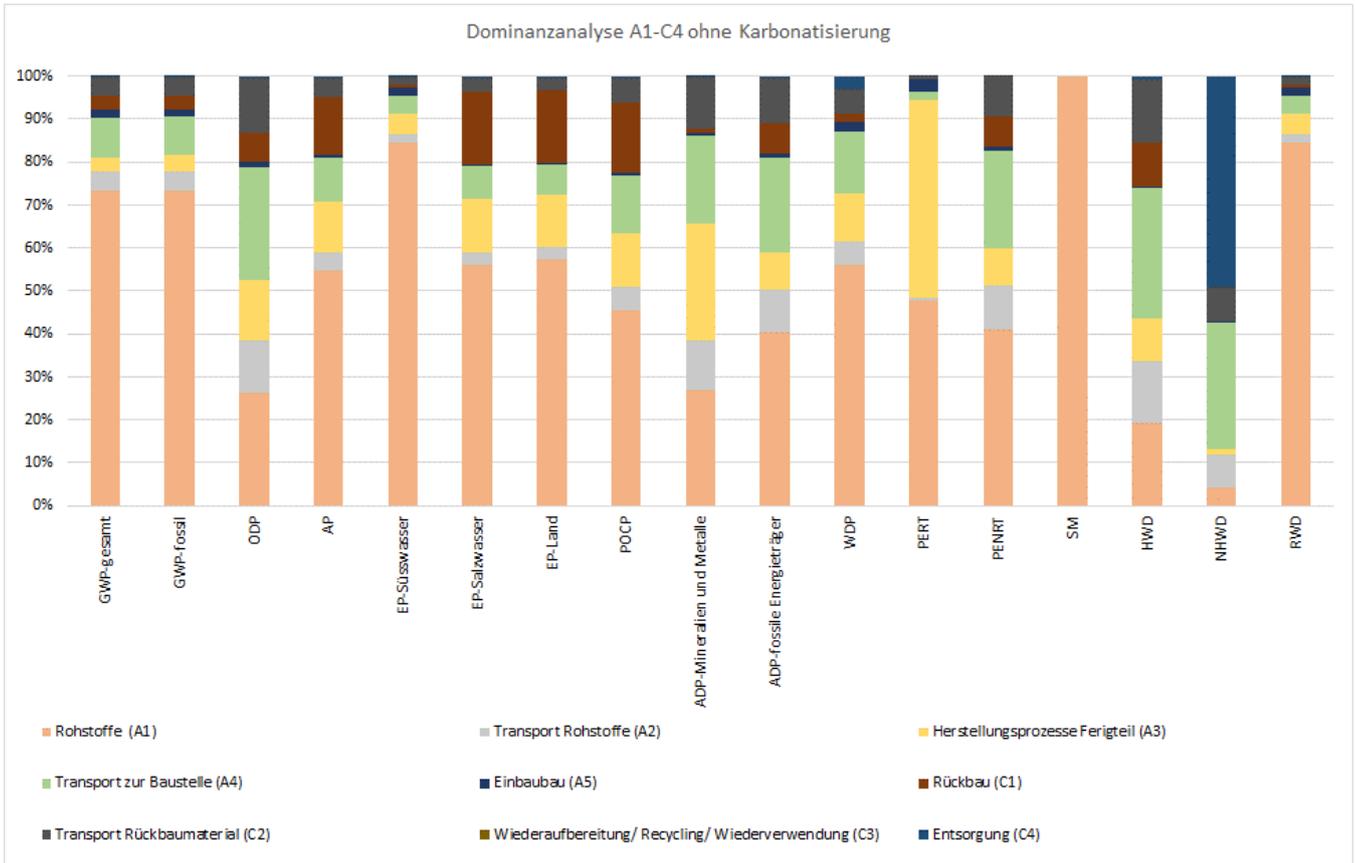


Abbildung 3: Dominanzanalyse Module A1-C4 Pflastersteine

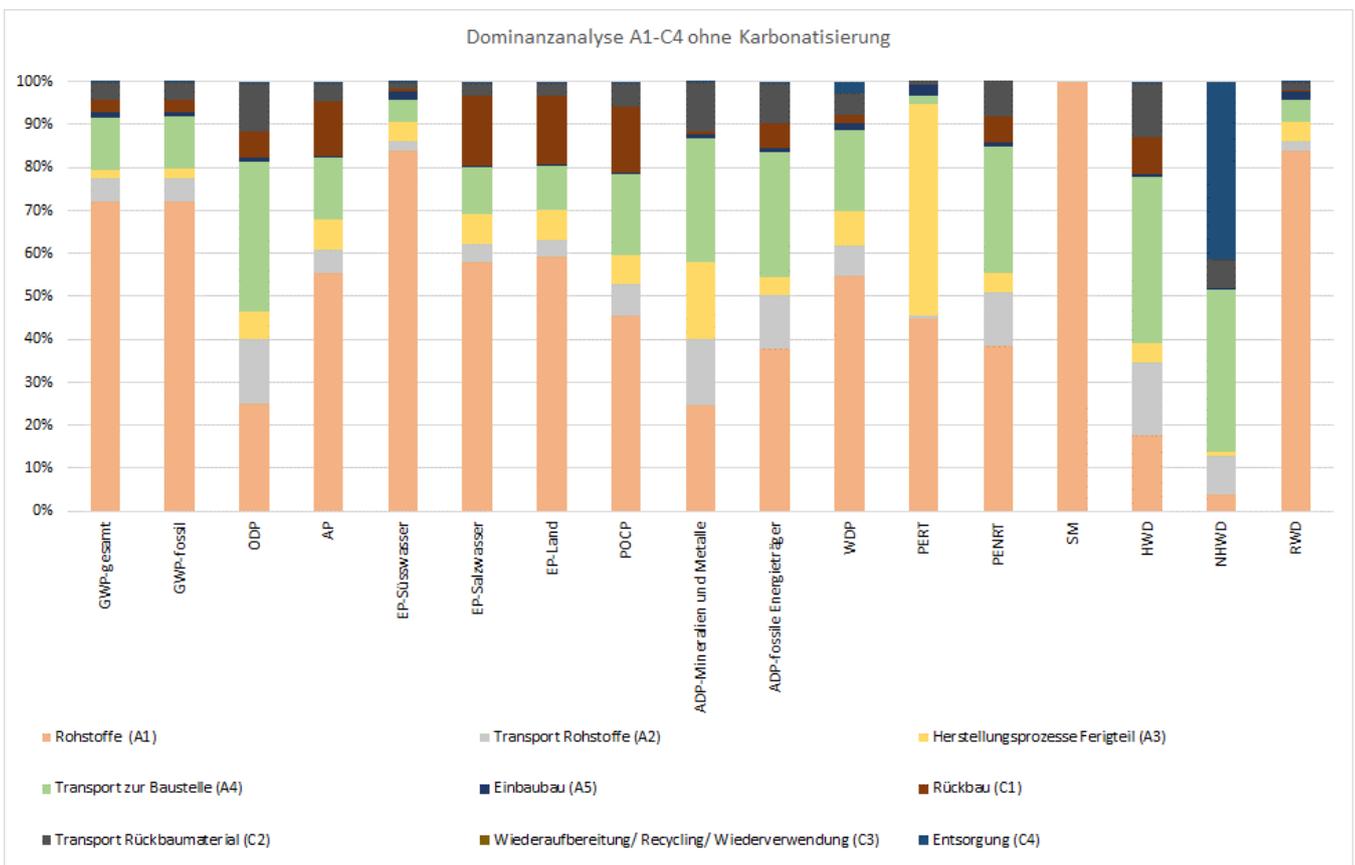


Abbildung 4: Dominanzanalyse Module A1-C4 Pflasterplatten

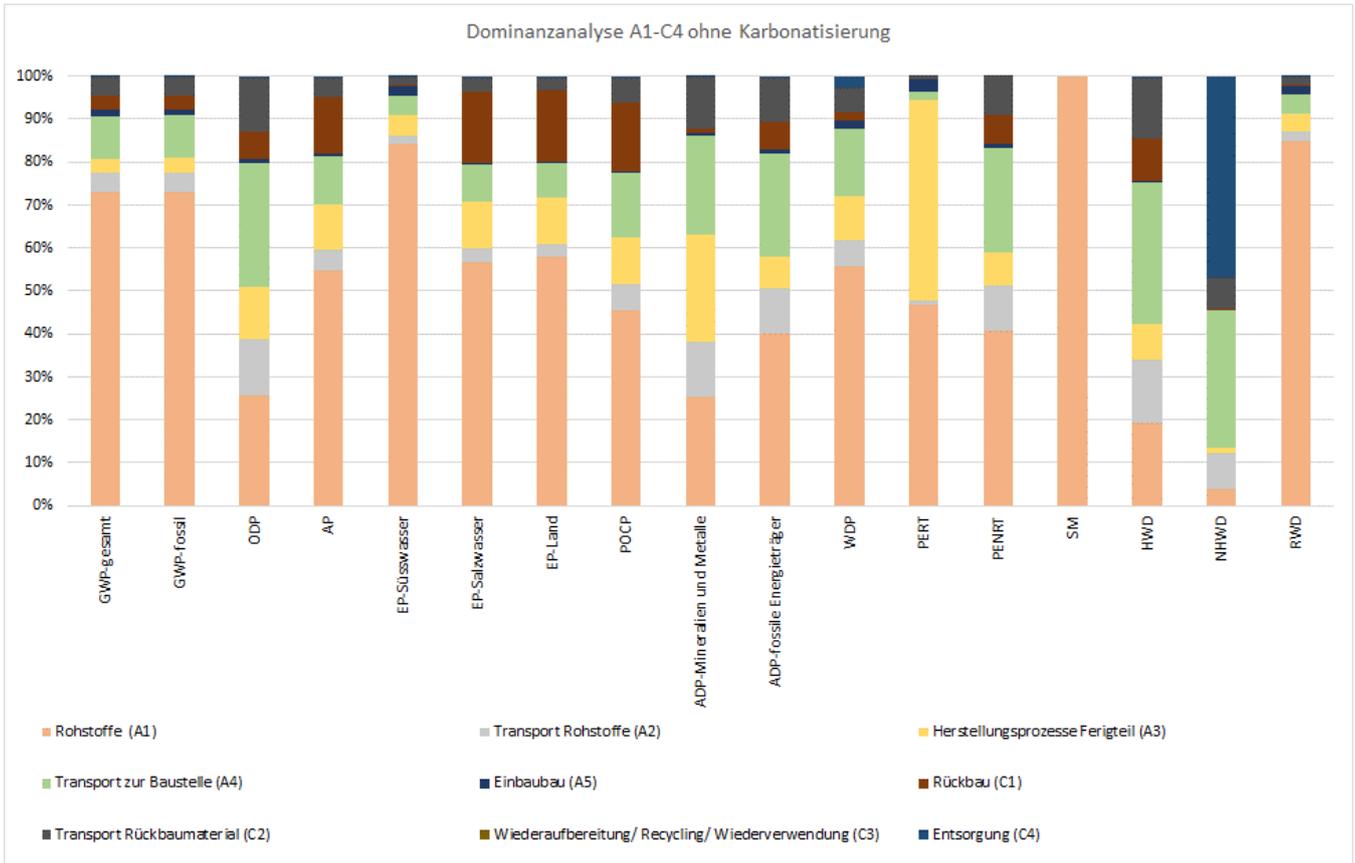


Abbildung 5: Dominanzanalyse Module A1-C4 Gesamtdurchschnitt

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. bis Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigen die Dominanzanalyse der Module A1 bis A3 für die betrachteten durchschnittlichen Betonfertigteile.

Auch für die A1-A3-Ergebnisse ist bei allen Hauptuntergruppen der größte Einfluss bei der Rohstoffherstellung (A1) zu erkennen. Die Module A2 und A3 haben über die gesamte Palette an Indikatoren gesehen einen gleichbedeutenden Einfluss.

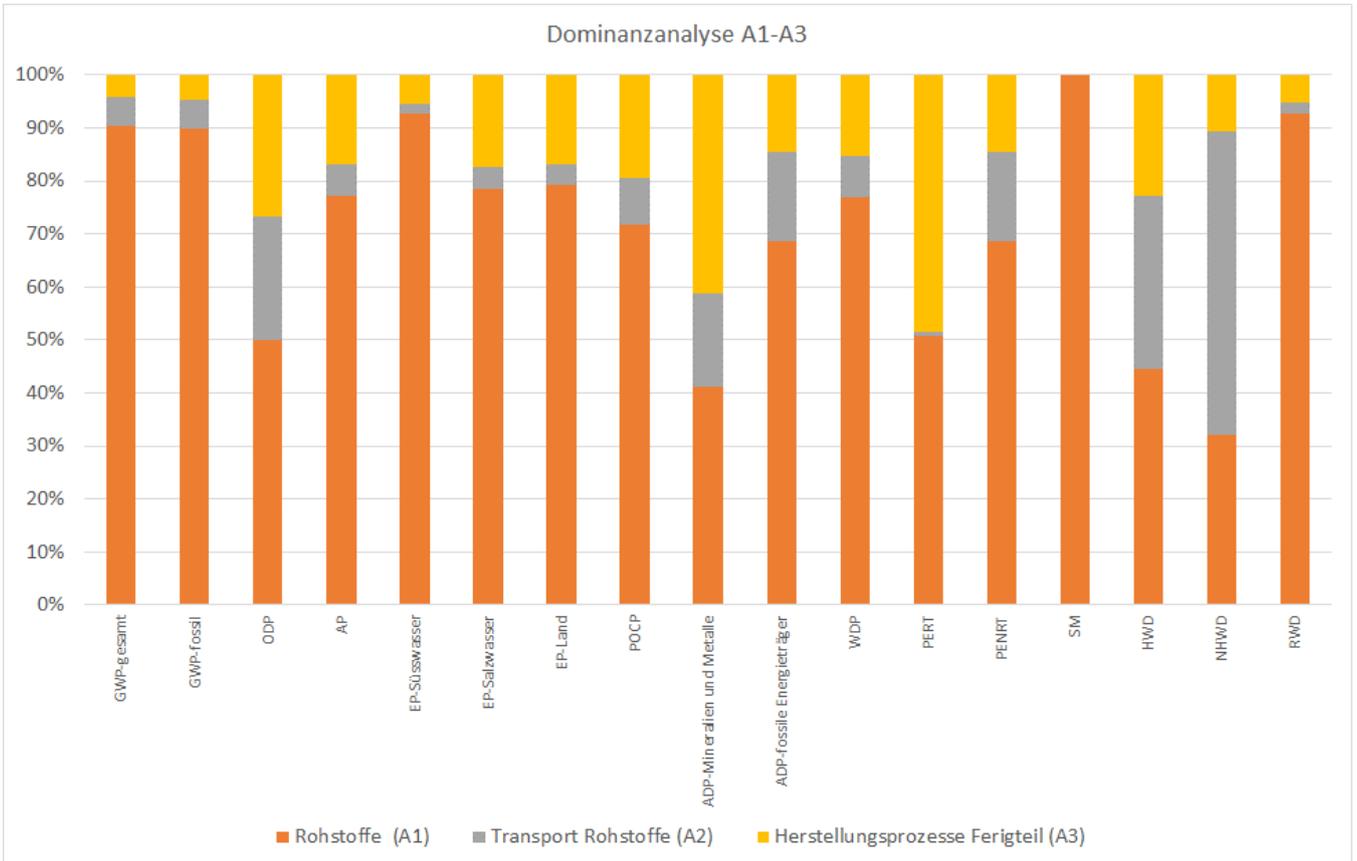


Abbildung 6: Dominanzanalyse Module A1-A3 Pflastersteine

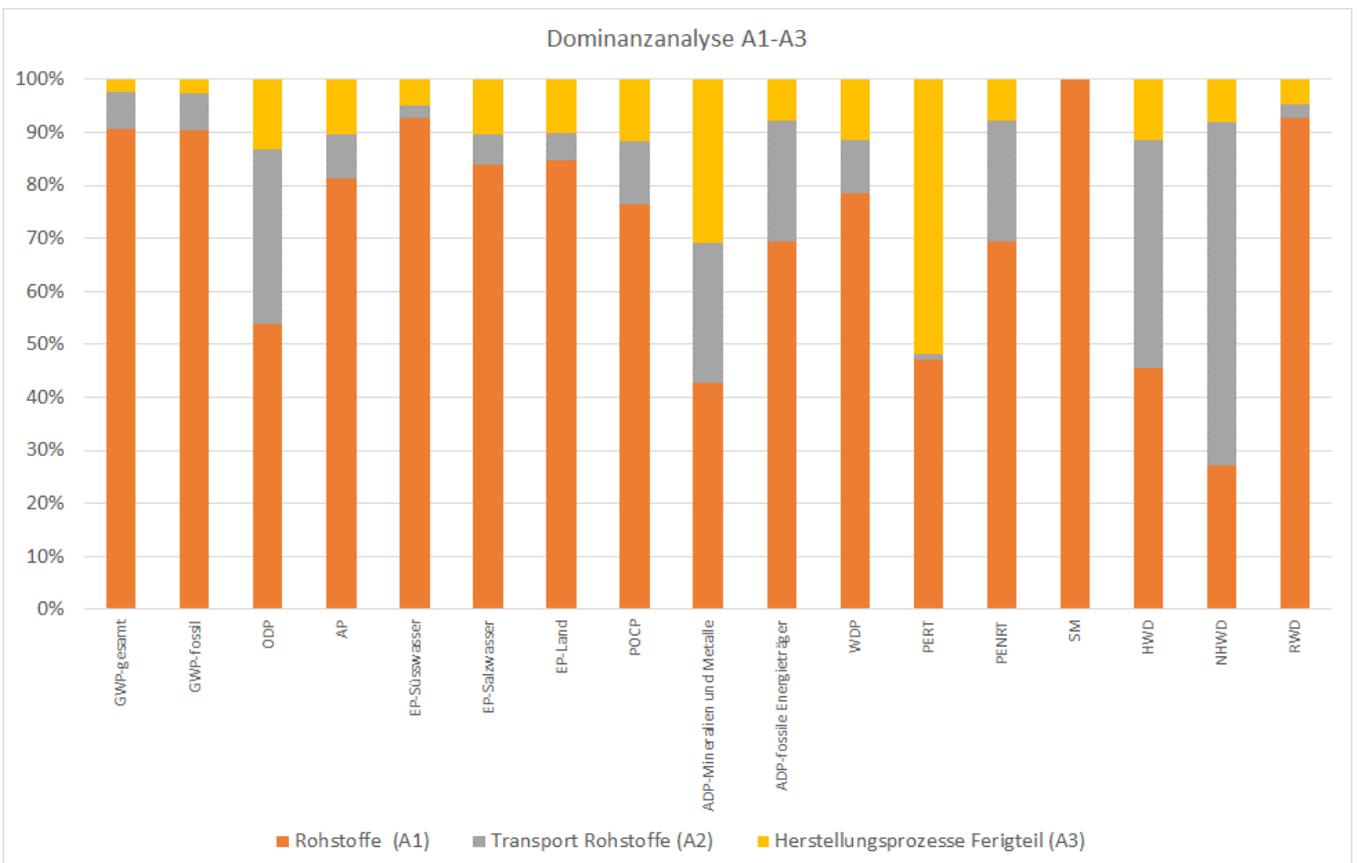


Abbildung 7: Dominanzanalyse Module A1-A3 Pflasterplatte

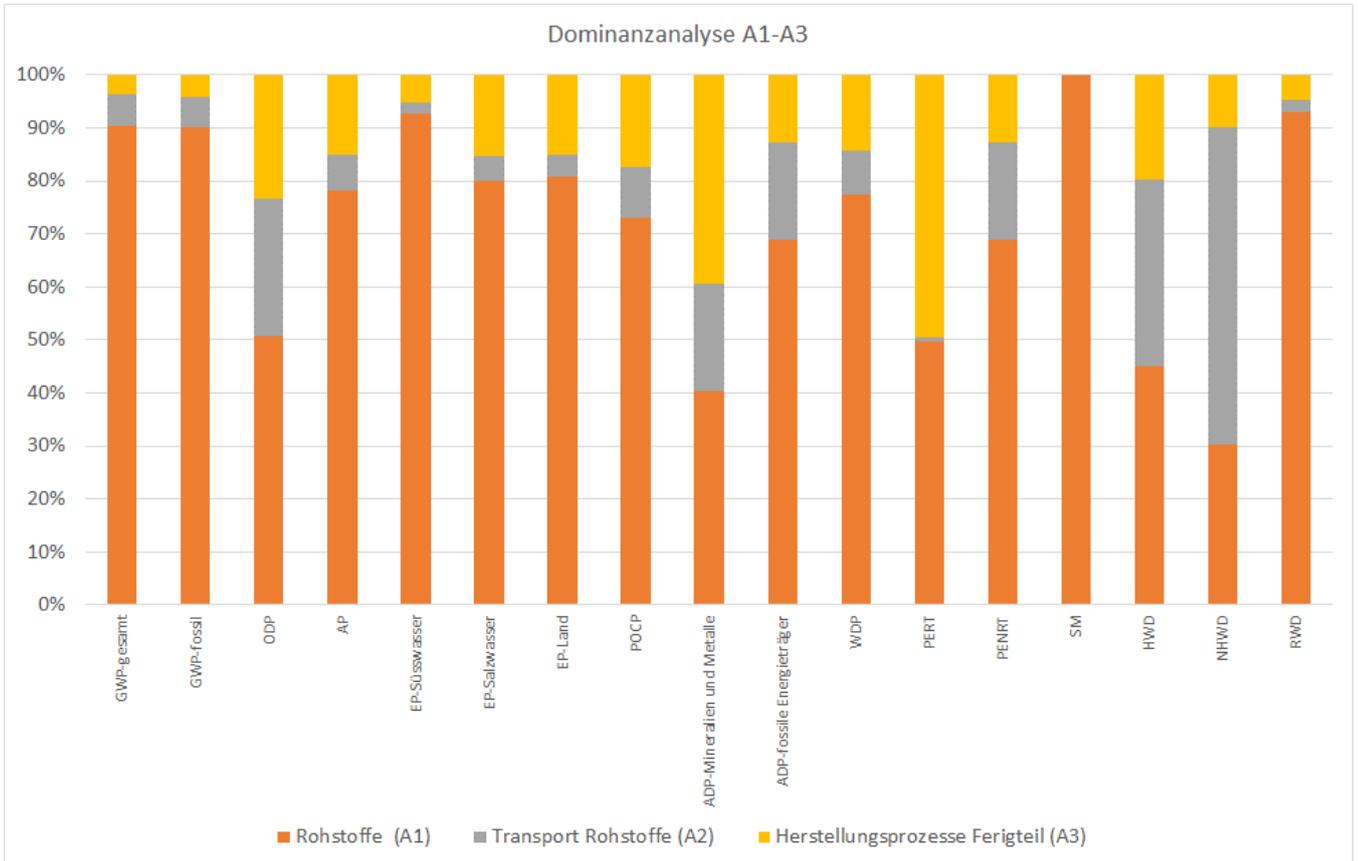


Abbildung 8: Dominanzanalyse Module A1-A3 Gesamtdurchschnitt

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. bis Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigen die Dominanzanalyse für das Module A1 für die betrachteten durchschnittlichen Betonfertigteile.

Hier ist bei allen Hauptuntergruppen der größte Einfluss auf den Großteil der Ergebnisse (ausgenommen SM) beim Zement zu finden. Bei den Sekundärmaterialien (SM) hat die rezyklierte Gesteinskörnung den größten Einfluss.

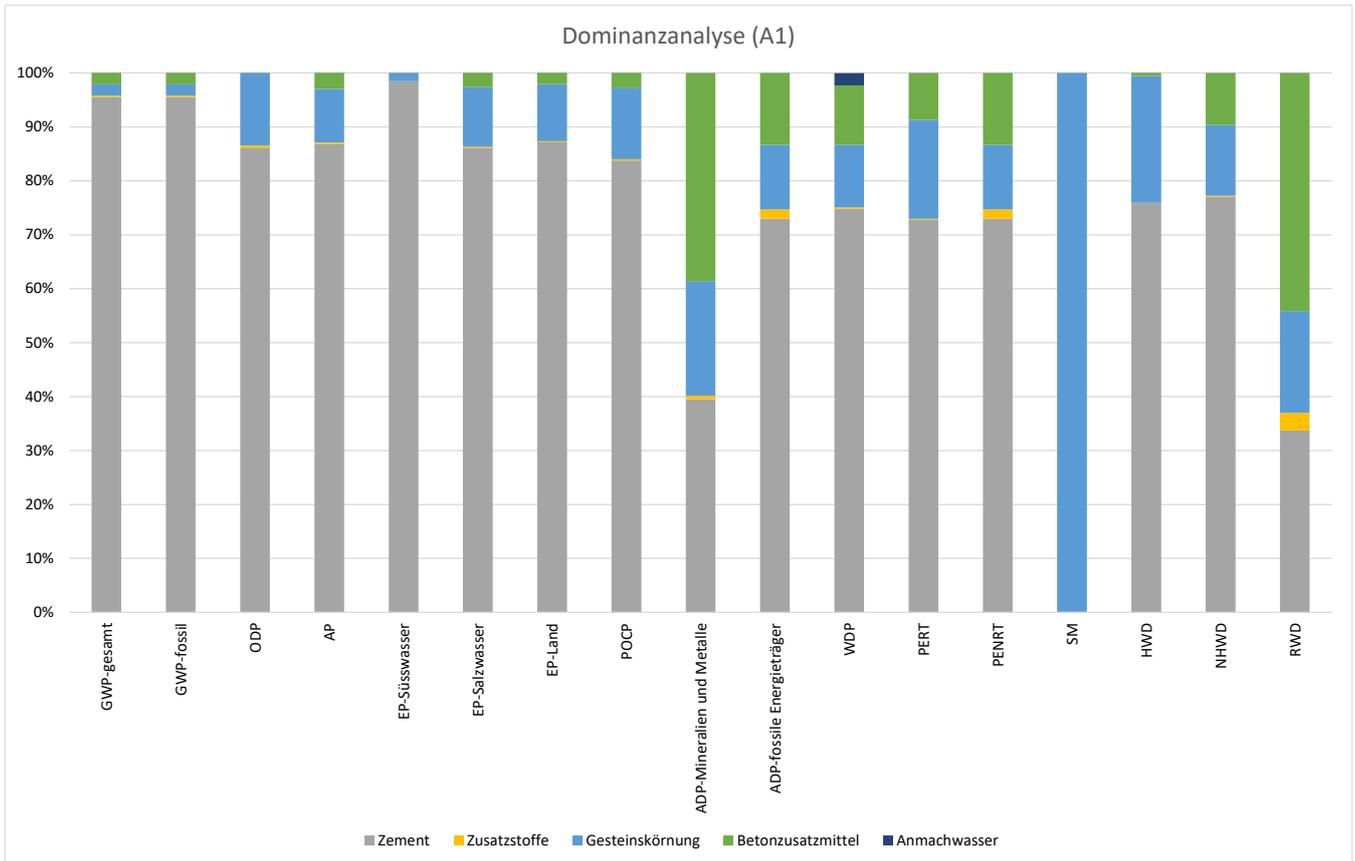


Abbildung 9: Dominanzanalyse Modul A1 Pflastersteine

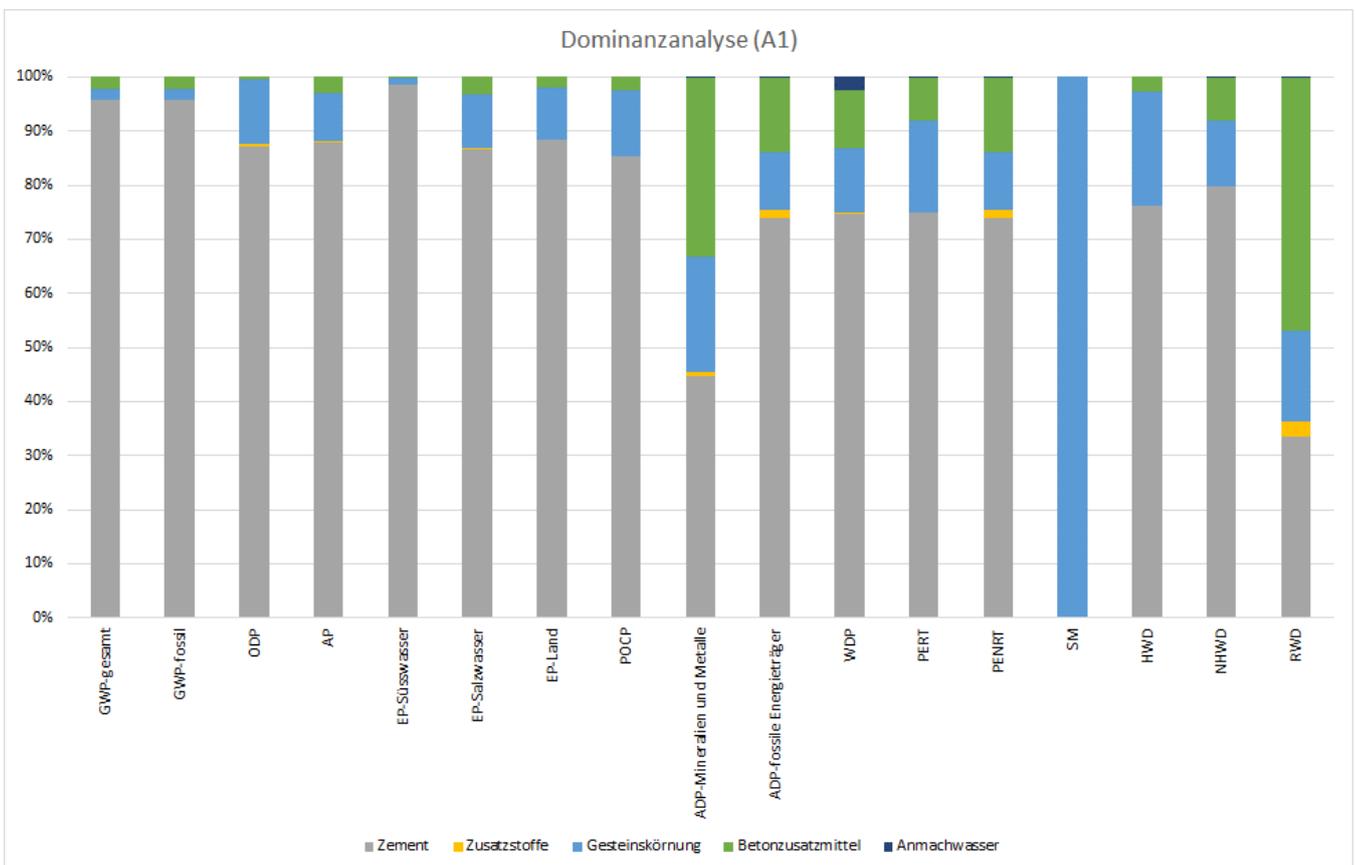


Abbildung 10: Dominanzanalyse Modul A1 Pflasterplatte

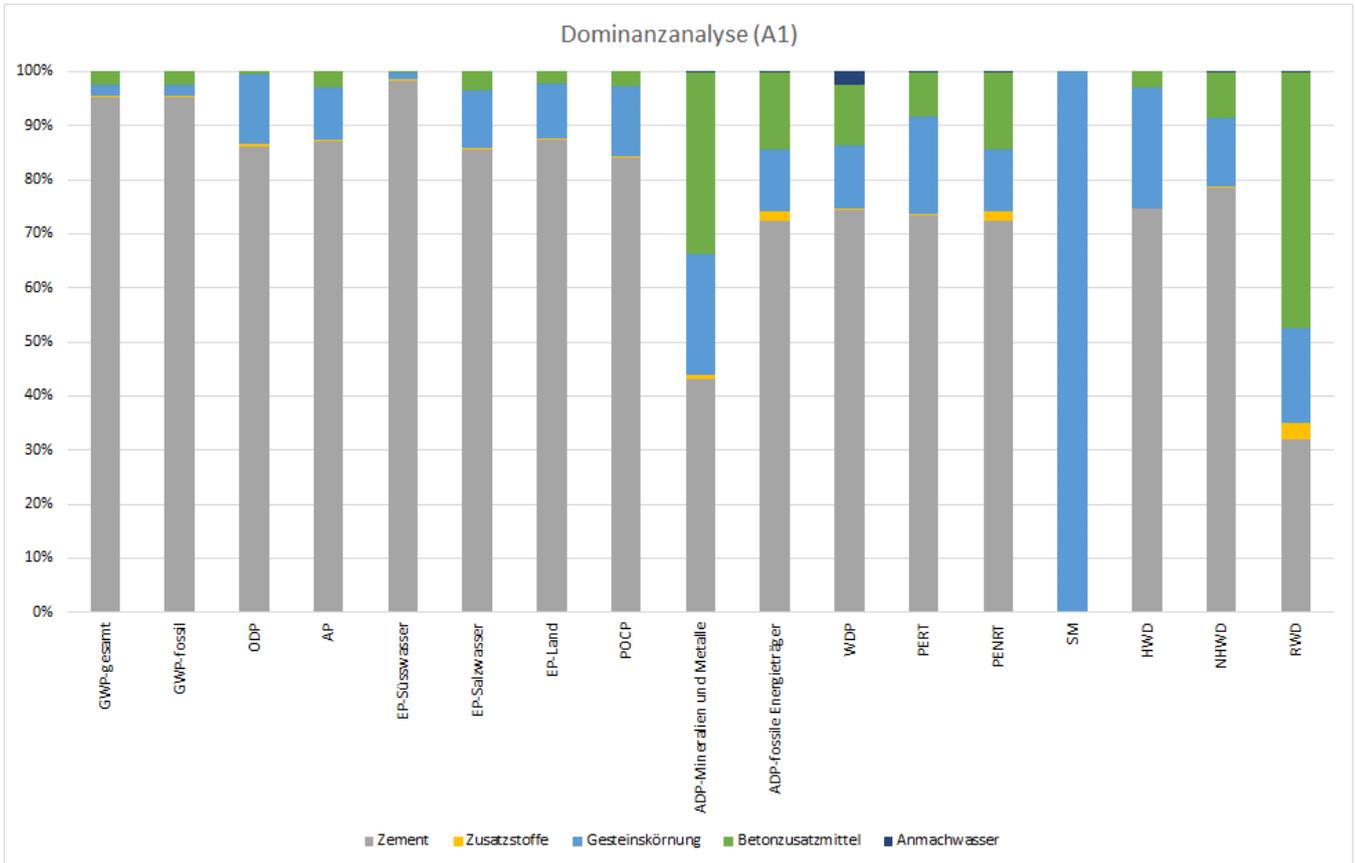


Abbildung 11: Dominanzanalyse Modul A1 Gesamtdurchschnitt

Zur Bewertung der Schwankung der Ergebnisse werden für den Gesamtdurchschnitt der betrachteten Pflastersteine und -platten die maximalen und minimalen Werks-Ergebnisse dem Durchschnitt gegenübergestellt. Für das GWP-gesamt der betrachteten Werksdurchschnitte ergibt sich eine Schwankungsbreite von ca. -8 % bis ca. +2 % im Vergleich zum Gesamtdurchschnitt der Werke, was die Stabilität der Auswertung bzw. ausgeglichene Herstellung der betrachteten Werke unterstreicht.

7 Literaturhinweise

- [1] *Bau EPD GmbH*: Managementsystem-Handbuch (EPD-MS-HB) des EPD-Programms, Stand 20.09.2023. Bau EPD Österreich, Wien, 2023.
- [2] *Bau EPD GmbH*: PCR Anleitungstexte für Beton und Betonelemente, PCR-Code 2.17, Stand 01.01.2024. Bau EPD Österreich, Wien, 2024.
- [3] ÖNORM EN 16757:2023. Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Produktkategorieeregeln für Beton und Betonelemente. Austrian Standard Institute, Wien.
- [4] OIB-095.1-011/19:2019. Konsolidierte Fassung (15. März 2019) der Liste der Bauprodukte und der Anlagen A und B der Baustoffliste ÖA (Verordnung des OIB vom 15. August 2015 über die Baustoffliste ÖA, inklusive 1. Novelle) Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien.
- [5] ÖNORM EN 15804:2022. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Austrian Standard Institute, Wien.
- [6] ÖNORM EN 206:2021. Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Austrian Standard Institute, Wien.
- [7] *Europäische Kommission*: Europäische Abfallartenkatalog (EAK). Europäische Kommission, Brüssel, 2021.
- [8] *floGeco GmbH*: Projektbericht - Ökobilanzrechner für Betonfertigteile - verifizierte Rechnerversion: 240419_floGeco-EPD-Rechner_v02. Bau EPD GmbH, Wien, 2024.
- [9] *ecoinvent Association*: ecoinvent Datenbank 3.9.1 – Systemmodell „Cut-Off by Classification“, <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/> [Zugriff am: 01.12.2023].
- [10] *Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ)*: Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804+A2 für österreichischen Durchschnittszement im Jahr 2017. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2020.
- [11] *Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie (FSKB)*: Durchschnitts-EPD für Gesteinskörnungen - Natürliche GK 0/4 mm, rund - Natürliche GK 0/4 mm, gebrochen - Natürliche GK 4/x mm, rund - Natürliche GK 4/x mm, gebrochen - Rezyklierte GK 0/x mm. SÜGB – Schweizerischer Überwachungsverband für Gesteinsbaustoffe, Bern, 2018.
- [12] *European Federation of Concrete Admixtures Associations Ltd. (EFCA)*: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 - Concrete admixtures – Hardening Accelerators. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2021.
- [13] *European Federation of Concrete Admixtures Associations Ltd. (EFCA)*: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 - Concrete admixtures – Set Accelerators. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2021.
- [14] *European Federation of Concrete Admixtures Associations Ltd. (EFCA)*: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 - Concrete admixtures – Plasticisers and Superplasticisers. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2021.
- [15] *European Federation of Concrete Admixtures Associations Ltd. (EFCA)*: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 - Concrete admixtures – Water Resisting Admixtures. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2021.
- [16] *European Federation of Concrete Admixtures Associations Ltd. (EFCA)*: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 - Concrete admixtures – Air entrainers. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2021.
- [17] *European Federation of Concrete Admixtures Associations Ltd. (EFCA)*: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 - Concrete admixtures – Retarders. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2021.
- [18] *Sphera Solutions GmbH*: GaBi Datenbanken, <https://gabi.sphera.com/deutsch/databases/gabi-databases/> [Zugriff am: 01.12.2023].
- [19] *Lanxess Deutschland GmbH*: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 - Iron Oxide Red Pigment (Fe2O3). Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2023.
- [20] *voestalpine Wire Austria GmbH*: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION as per ISO 14025 and EN 15804 - Drawn Wire - Prestressing Wire and Strand. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Berlin, 2023.

- [21] *Bau EPD GmbH*: Managementsystem-Handbuch (EPD-MS-HB) des EPD-Programms, Stand 27.01.2023. Bau EPD Österreich, Wien, 2023.
- [22] CEN/TR 16970:2016. Nachhaltiges Bauen - Leitfaden für die Anwendung von EN 15804. Europäische Komitee für Normung CEN, Brüssel.
- [23] ÖNORM EN 16908:2022. Zement und Baukalk - Umweltproduktdeklarationen - Produktkategorieregeln in Ergänzung zu EN 15804. Austrian Standard Institute, Wien.

8 Verzeichnisse und Glossar

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flussdiagramm Herstellungsprozesse (A1-A3) Betonfertigteile inkl. Einbau (A4-A5) [3]	17
Abbildung 2: Typische Prozesse im Entsorgungsstadium von Betonelementen und deren Zuordnung zu den Lebenszyklusmodulen C1-C4 und D (Transportprozesse und Nutzungsphase werden nicht gezeigt) [3]	18
Abbildung 4: Dominanzanalyse Module A1-C4 Pflastersteine	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5: Dominanzanalyse Module A1-C4 Pflasterplatten	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6: Dominanzanalyse Module A1-C4 Gesamtdurchschnitt	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 7: Dominanzanalyse Module A1-A3 Pflastersteine	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 8: Dominanzanalyse Module A1-A3 Pflasterplatte	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 9: Dominanzanalyse Module A1-A3 Gesamtdurchschnitt	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 10: Dominanzanalyse Modul A1 Pflastersteine	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 11: Dominanzanalyse Modul A1 Pflasterplatte	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 12: Dominanzanalyse Modul A1 Gesamtdurchschnitt	Fehler! Textmarke nicht definiert.

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Produktionswerke	6
Tabelle 2: Gesamtproduktionsmengen der betrachteten Hauptuntergruppen	6
Tabelle 3: Produktrelevante Normen	7
Tabelle 4: Technische Daten Hauptgruppe Pflastersteine	7
Tabelle 5: Technische Daten Hauptgruppe Pflasterplatten	8
Tabelle 6: Technische Daten Hauptgruppe Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten	8
Tabelle 7: Grundstoffe / Hilfsstoffe Beton Pflastersteine	9
Tabelle 8: Grundstoffe / Hilfsstoffe Betonfertigteile Pflastersteine	9
Tabelle 9: Grundstoffe / Hilfsstoffe Beton Pflasterplatten	9
Tabelle 10: Grundstoffe / Hilfsstoffe Betonfertigteile Pflasterplatten	9
Tabelle 11: Grundstoffe / Hilfsstoffe Beton Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten	10
Tabelle 12: Grundstoffe / Hilfsstoffe Betonfertigteile Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten	10
Tabelle 13: Referenz-Nutzungsdauern (RSL) nach ÖNORM EN 16757:2023 – Anhang F [3]	11
Tabelle 14: Deklarierte Einheit Pflastersteine = 1 t	13
Tabelle 15: Deklarierte Einheit Pflasterplatten = 1 t	13
Tabelle 16: Deklarierte Einheit Gesamtdurchschnitt Pflastersteine und -platten = 1 t	13
Tabelle 17: Deklarierte Lebenszyklusphasen	14
Tabelle 18: Beschreibung des Szenarios „Transport zur Einbaustelle (A4) – Straße“	22
Tabelle 19: Beschreibung des Szenarios „Transport zur Einbaustelle (A4) – Bahn“	22
Tabelle 20: Beschreibung des Szenarios „Einbau in das Bauwerk (A5)“	23
Tabelle 21: Beschreibung des Szenarios „Rückbau (C1)“	24
Tabelle 22: Beschreibung des Szenarios „Transport Entsorgung (C2)“	24
Tabelle 23: Beschreibung des Szenarios „Entsorgung des Produkts (C1 bis C4)“	25
Tabelle 24: Beschreibung des Szenarios „Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial (Modul D)“	25
Tabelle 25: Ergebnisse Kernindikatoren für die Umweltwirkungen pro Tonne Pflastersteine	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 26: Ergebnisse zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren pro Tonne Pflastersteine	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 27: Ergebnisse Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes pro Tonne Pflastersteine	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 28: Ergebnisse Abfallkategorien und Outputflüsse pro Tonne Pflastersteine	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 29: Ergebnisse biogener Kohlenstoffgehalt am Werkstor pro Tonne Pflastersteine	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 30: Ergebnisse Kernindikatoren für die Umweltwirkungen pro Tonne Pflasterplatten	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 31: Ergebnisse zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren pro Tonne Pflasterplatten	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 32: Ergebnisse Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes pro Tonne Pflasterplatten	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 33: Ergebnisse Abfallkategorien und Outputflüsse pro Tonne Pflasterplatten	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 34: Ergebnisse biogener Kohlenstoffgehalt am Werkstor pro Tonne Pflasterplatten	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 35: Ergebnisse Kernindikatoren für die Umweltwirkungen pro Tonne Gesamtdurchschnitt	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 36: Ergebnisse zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren pro Tonne Gesamtdurchschnitt	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 37: Ergebnisse Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes pro Tonne Gesamtdurchschnitt	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 38: Ergebnisse Abfallkategorien und Outputflüsse pro Tonne Gesamtdurchschnitt	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Tabelle 39: Ergebnisse biogener Kohlenstoffgehalt am Werkstor pro Tonne Gesamtdurchschnitt **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
 Tabelle 40: Klassifizierung von Einschränkungshinweisen zur Deklaration von Kern- und zusätzlichen Umweltindikatoren 31

8.3 Abkürzungen

8.3.1 Abkürzungen gemäß ÖNORM EN 15804

EPD	Umweltproduktdeklaration (en: environmental product declaration)
PKR	Produktkategorieregeln, (en: product category rules)
LCA	Ökobilanz, (en: life cycle assessment)
LCI	Sachbilanz, (en: life cycle inventory analysis)
LCIA	Wirkungsabschätzung, (en: life cycle impact assessment)
RSL	Referenz-Nutzungsdauer, (en: reference service life)
ESL	Voraussichtliche Nutzungsdauer, (en: estimated service life)
EPBD	Richtlinie zur Energieeffizienz von Gebäuden, (en: Energy Performance of Buildings Directive)
GWP	Treibhauspotenzial (en: global warming potential)
ODP	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (en: depletion potential of the stratospheric ozone layer)
AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (en: acidification potential of soil and water)
EP	Eutrophierungspotenzial (en: eutrophication potential)
POCP	Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (en: formation potential of tropospheric ozone)
ADP	Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen (en: abiotic depletion potential)"

8.3.2 Abkürzungen gemäß vorliegender PKR

CE-Kennz.	franz. Communauté Européenne = „Europäische Gemeinschaft“ oder Conformité Européenne, soviel wie „Übereinstimmung mit EU-Richtlinien“
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (de: Verordnung über die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)



Eigentümer und Herausgeber

Bau EPD GmbH
Seidengasse 13/3
1070 Wien
Österreich

Tel +43 699 15 900 500
Mail office@bau-epd.at
Web www.bau-epd.at



Programmbetreiber

Bau EPD GmbH
Seidengasse 13/3
1070 Wien
Österreich

Tel +43 699 15 900 500
Mail office@bau-epd.at
Web www.bau-epd.at



Ersteller der Ökobilanz

floGeco GmbH
Hinteranger 61d
A-6161 Natters
Österreich

Tel +43 664 13 51 523
Fax
Mail office@flogeco.com
Web www.flogeco.com



Inhaber der Deklaration

Verband Österreichischer Beton- und
Fertigteilerwerke (VÖB)
Gablenzgasse 3/5. OG
A-1150 Wien
Österreich

Tel +43 01 403 48 00
Fax +43 01 403 48 00 19
Mail office@voeb.co.at
Web www.voeb.com